

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

21. 7. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 7月16日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-275601
[ST. 10/C]: [JP2003-275601]

出 願 人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

REC'D 10 SEP 2004

WIPO

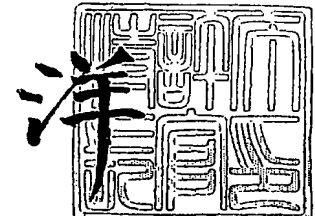
PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月26日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH155560
【提出日】 平成15年 7月16日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H04B
H04J
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 吉野 學
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 三鬼 準基
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100066153
【弁理士】
【氏名又は名称】 草野 卓
【選任した代理人】
【識別番号】 100100642
【弁理士】
【氏名又は名称】 稲垣 稔
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 002897
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9806848

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

2 以上の整数 N 個のデータ系列をそれぞれ互いに異なる拡散符号に符号化し、これら符号化された拡散符号系列を合成して出力する符号多重化方法において、

上記拡散符号として、符号長を同一値 FSR とし、

第 n 拡散符号 ($n = 1, 2, \dots, N$) の周波数 f の相対強度 $C_n(f)$ を
 $(1 + \cos((2\pi s f / FSR) + r \cdot \pi / 2))$, r は 4 の剰余、
 とすることを特徴とする符号多重化方法。

【請求項 2】

上記 r は 2 の剰余であって、

上記符号長 FSR をデータ系列のデータ周期と等しくし、第 n データ系列における 2 値の一方のデータに対する第 n 拡散符号の周波数 f の相対強度を上記 $C_n(f)$ とし、2 値の他方のデータに対し、第 n 拡散符号の周波数 f の相対強度 $C_n'(f)$ が

$1 - C_n(f)$ である第 n 拡散符号に符号化することを特徴とする請求項 1 記載の符号多重化方法。

【請求項 3】

2 以上の整数 N 個のデータ系列をそれぞれ互いに異なる拡散符号に符号化し、これら符号化された拡散符号系列を合成して出力する符号多重化方法において、

上記拡散符号として、

符号長が同一であり、

その拡散符号を連続して繰り返し連結した連結符号が互いに異なるものであり、

上記拡散符号から任意の二つの拡散符号を選択した場合に

第 1 の拡散符号と第 2 の拡散符号が同時に “1” となるチップ位置の数と第 1 の拡散符号が “1” となり第 2 の拡散符号が “-1” となるチップ位置の数が等しいか

第 1 の拡散符号と第 2 の拡散符号が同時に “-1” となるチップ位置の数と第 1 の拡散符号が “-1” となり第 2 の拡散符号が “1” となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たし、

拡散符号を構成するチップにその配列と対応して連続する周波数が順次割り当てられているものを用いることを特徴とする符号多重化方法。

【請求項 4】

拡散符号の符号長をデータ系列のデータ周期と等しくし、第 n データ系列 ($n = 1, 2, \dots, N$) における 2 値の一方のデータを第 n 拡散符号で符号化し、2 値の他方のデータを上記第 n 拡散符号の各チップを反転させた拡散符号で符号化することを特徴とする請求項 3 記載の符号多重化方法。

【請求項 5】

入力された所定の周波数幅以上の周波数を、

上記周波数幅と同程度又はその自然数分の 1 と同程度の符号長の周波数領域の拡散符号に符号化する第 1 ～第 N 符号器 (N は 2 以上の整数) と、

上記 N 個の符号器よりの拡散符号を合成して出力する合成器とを具備し、

第 n 符号器は、

第 n 拡散符号の周波数 f の強度 $C_n(f)$ が、第 1 ～第 N 拡散符号に共通の符号長 FSR の周期で繰り返す

$$C_n(f) = C_n(f + FSR)$$

の関係が成り立ち、

拡散符号の周波数 f の強度 $C_n(f)$ が 0 から 1 の値をとり、

第 n 拡散符号の周波数 f の強度 $C_n(f)$ とその反転値 $C_n'(f)$ が

$$C_n(f) + C_n'(f) = 1$$

の関係が成り立つ第 n 拡散符号を生成出力するものであることを特徴とする符号多重化器。

【請求項 6】

s を 1 から最大符号数 N を 2 で除した値 $N/2$ までの整数値、r を 4 の剰余とし、上記強度 $C_n(f)$ は

$$(1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot s \cdot f / FSR + r \cdot \pi / 2)) / 2$$

であることを特徴とする請求項 5 記載の符号多重化器。

【請求項 7】

上記 s の値が同じで上記 r の値が異なる二つの拡散符号 i と j をそれぞれ生成する二つの上記符号器が共通のプレーナ光波回路基板に構成されていることを特徴とする請求項 6 記載の符号多重化器。

【請求項 8】

入力された周波数信号を、その周波数幅と同程度又はその自然数分の 1 と同程度の符号長の周波数領域の拡散符号に符号化する第 1 ～第 N 符号器 (N は 2 以上の整数) と、

上記 N 個の符号器よりの拡散符号を合成して出力する合成器とを具備し、

上記拡散符号は、

同一符号長の異なる拡散符号から任意の二つの拡散符号を選択した場合にその第 1 の拡散符号と第 2 の拡散符号が同時にチップ配列上の対応チップの値で “1” となるチップ位置の数と第 1 の拡散符号が “1” となり第 2 の拡散符号が “-1” となるチップ位置の数が等しいか

第 1 の拡散符号と第 2 の拡散符号が同時に “-1” となるチップ位置の数と第 1 の拡散符号が “-1” となり第 2 の拡散符号が “1” となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たし、

上記拡散符号を連続して繰り返して連結した連結符号から前記符号長分の連続するチップを任意に抽出したチップ列中の “1” のチップ数と “-1” のチップ数が抽出したチップ列によらず同一で、

互いに異なる任意の二つの拡散符号についてそれぞれ連続して繰り返して連結した互いに異なる連結符号のそれぞれから前記符号長分の連続するチップを任意に抽出した第 1 のチップ列と第 2 のチップ列間で第 1 のチップ列と第 2 のチップ列が同時に “1” となるチップ位置の数と第 1 のチップ列が “1” となり第 2 のチップ列が “-1” となるチップ位置の数が等しいか、第 1 のチップ列と第 2 のチップ列が同時に “-1” となるチップ位置の数と第 1 のチップ列が “-1” となり第 2 のチップ列が “1” となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たす拡散符号であり、

上記符号器は上記周波数信号の周波数幅より広い周波数帯について符号化可能であり、入力されたデータ系列のデータが “1” で上記拡散符号の連結符号から任意に抜き出した符号長分の連続するチップにおけるチップ値が “1” と対応する周波数成分を、上記周波数信号から選択して上記周波数領域の拡散符号として生成出力するものである

ことを特徴とする符号多重化器。

【請求項 9】

上記第 1 ～N 符号器の少なくとも 1 つの第 n 符号器は第 n 拡散符号とその反転拡散符号とを出力することができ、

上記第 n 符号器に入力される第 n データ系列のデータ周期と上記符号長 FSR が等しく、第 n データ系列における 2 値のデータの一方で拡散符号を出力し、2 値データの他方で反転拡散符号を出力する切替器を備えることを特徴とする請求項 5 ～6 のいずれかに記載の符号多重化器。

【請求項 10】

上記周波数信号は光周波数信号であり、上記符号器は、

光路長が異なる複数の方路を経由した分岐光を合波することで所定の光周波数信号を周期的に選択するろ波器を 1 又は複数段接続することで光周波数領域で上記拡散符号生成することを特徴とする請求項 8 記載の符号多重化器。

【請求項 11】

上記周波数信号は光周波数信号であり、上記符号器は、

上記光周波数信号が入力され、上記拡散符号の各チップと対応する光周波数信号を周期

的に異なる方路に出力するろ波器と、そのろ波器の出力方路中の少なくともチップ値が“1”と対応する出力光を選択して出力する合波器とを備えることを特徴とする請求項8記載の符号多重化器。

【請求項12】

周波数領域の同一符号長の互いに異なる拡散符号として第1～第N（Nは2以上の整数）データ系列が符号多重化された信号より各データ系列を分離復号する復号器であって、
上記符号多重化信号が入力され、第nデータ系列（ $n=1, 2, \dots, N$ ）と対応する第n拡散符号中の各“1”のチップにそれぞれ相当する各周波数信号を選択する第1ろ波器と、

その第1ろ波器が選択した周波数信号の強度を検出する第1検出器と、

上記符号多重化信号が入力され、上記第n拡散符号中の各“-1”のチップにそれぞれ相当する各周波数信号を選択する第2ろ波器と、

その第2ろ波器が選択した周波数信号の強度を検出する第2検出器と、

上記第1検出器の検出した強度から上記第2検出器の検出した強度を減算した強度を出力する強度差検出器と

を具備する符号多重化信号復号器。

【請求項13】

上記符号多重化信号は光符号多重化信号であり、

上記第1ろ波器と上記第2ろ波器は、

上記光符号多重化信号が入力され、拡散符号の各チップ対応の光周波数信号を周期的に異なる方路に出力する第3ろ波器と、

その第3ろ波器の出力方路中の上記第n拡散符号中の各“1”のチップに相当する方路の周波数信号を合波して上記第1検出器へ入力する第1合波器と、

上記第3ろ波器の出力方路中の上記第n拡散符号中の各“-1”のチップに相当する方路の周波数信号を合波して上記第2検出器へ入力する第2合波器とにより構成されていることを特徴とする請求項12記載の符号多重化信号復号器。

【請求項14】

周波数領域の同一符号長の互いに異なる拡散符号として第1～第N（Nは2以上の整数）データ系列が符号多重化された光信号より各データ系列を分離する復号器であって、

上記光符号多重化信号が入力され、上記拡散符号を構成する各チップの光周波数信号を選択して異なる方路に出力するろ波器と、

そのろ波器の各出力方路からの光周波数信号がそれぞれ入力され、その強度をそれぞれ検出する複数の検出器と、

復号対象の拡散符号の“1”のチップに対応する全ての検出器の出力の総和から“-1”のチップに対応する全ての検出器の総和を減算した強度を出力する強度差検出器と

を具備することを特徴とする符号多重化信号復号器。

【請求項15】

上記ろ波器の選択する周波数信号の周波数をシフトさせるシフト手段と、

上記強度差検出器の出力が入力され、強度差検出器の出力が最大になるように上記シフト手段を制御する制御手段とを具備することを特徴とする請求項12～14のいずれかに記載の符号多重化信号復号器。

【請求項16】

上記符号多重化信号は光符号多重化信号であり、

上記請求項5～11のいずれかに記載の符号多重化器と上記請求項15記載の符号多重化信号復号器とが、それぞれ備えるろ波器の選択する周波数が同一の温度制御により制御される同一のプレーナ光波回路基板上に構成されていることを特徴とする請求項15記載の符号多重化信号復号器。

【書類名】明細書

【発明の名称】符号多重化方法、符号多重化信号復号方法、符号多重化器及び符号多重化信号復号器

【技術分野】

【0001】

この発明は、符号多重 (CDM, Code Division Multiplex) 化器、その復号器、特に複数収容局と、その収容局からの信号を光ファイバを介して受ける中央局とからなる 1 対多接続光網である PON (Passive Optical Network) に適用すると好ましいものに関する。

【背景技術】

【0002】

光符号多重を適用した光通信システムの構成と光周波数符号化 (波長符号化) の模式図を図 1 に示す。図 1 (a) に示すシステム構成は光源 10、符号器 11、復号器を備え、光源 10 より光周波数 (波長) 信号が符号器 11 及び復号器 12 においてその選択波長に従って符号化/復号化される様子を図 1 (b) に示す。送信側では光源 10 からの波長が広帯域な光信号 20 が符号器 11 に入射され、その所望のチップ位置に相当する符号器の選択波長 31 の波長成分のみが導通波長光 21 として切り出されて波長符号化される。この符号化された導通波長光 21 は光ファイバ 13 を通じて受信側の復号器 12 へ伝送される。導通波長光 21 は復号器 12 で対応する符号器 11 からの符号のみが復号器の選択波長 32 により導通波長光 22 として通過して復号される。

【0003】

一方図 1 (c) に示すように、対応しない符号器 11 からの符号は、例えば選択波長 31' により得られた導通波長光 21' となり、これは復号器 12 の選択波長 32 によっては符号中の全てのチップ (波長) は導通せず、導通するものがあるとしても一部のみであって、適正な光信号として復号されず雑音光 22' となる。ここで符号器 11 及び復号器 12 は、例えば非特許文献 1 に示されている。

これらの従来の符号器及び復号器では、それらの用いる波長は特定の波長であり、符号器 11 への入力光波長及び符号器 11 の選択波長 31 はそれぞれ所定の絶対波長からの変動はほとんど許容されない。このため、受信側から送信側に対して送出光波長及び符号器 11 の選択波長 31 を通知し、送信側はこの通知に従って光源 10 の出射光 20、符号器 11 の選択波長 31 の校正をしなければならない問題があった。

【0004】

この問題を解決するために例えば非特許文献 2 に示される方法が提案されている。この提案されている方法では、波長幅が数十 nm の LED (発光ダイオード) 等の広帯域光源の出射光を、選択波長の温度依存性が少ない素材で構成したマッハツエンダラ波器又はファブリーペロラ波器を用いてサイン関数で波長を選択して波長符号化する、つまり各データ系列ごとに異なる波長を割り当てる。

【非特許文献 1】大柴小枝子他著 2002 年電子情報通信学会総合大会 B-10-80 「データレート拡張型時間拡散/波長ホップ光符号分割多重の実験検討」

【非特許文献 2】T. Pfeiffer 他著, Electronics Letters vol.33 No.25 pp 2441-2442, 1997, "High Speed optical network for asynchronous multiuser access applying periodic spectral coding of broadband sources"

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

前記非特許文献 2 に示す従来の技術では、異なる拡散符号 (符号語) はサイン関数の周期によって規定するが、広帯域光源の波長幅とら波器の選択波長の数には限界があるため、拡散符号同士が直交関係にないものが生じる。このため、サイン関数の周期で切り出される波長数が少ない場合は符号語同士の符号間干渉が無視できず、誤り率を劣化させることなく多くの符号を多重することは困難である。従って、符号間干渉を抑止するためには

、波長幅を無限大として近似するに十分な数の波長で多重するために、光源の出射光の周波数を広帯域とする必要がある。広帯域光源を用いるために、伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題が発生し、高速伝送ができない問題がある。また広い周波数幅の光を必要とするため、波長分散の影響で、送受信間の距離が長い場合は信号対雑音比が劣化する問題があった。また、周波数のみで符号化しているため、光源の出射光の周波数幅と、ろ波器で選択できる波長数に限りがあるため最大の符号数が増やせない問題があった。以上のことは光通信のみならず、電気通信についても同様のことがいえる。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明によれば、多重化する各拡散符号の符号長を同一とし、かつ、これら拡散符号を互いに直交化する。

この拡散符号の直交化の1形態は、同一周波数幅内において、その周波数 f を変数とする信号強度の関数 $C(f)$ を互いに直交化させる。

この拡散符号の直交化の他の形態は、拡散符号を連続して繰り返して連結した連結符号から拡散符号の符号長分だけ任意に抜き出したチップ列中の“1”のチップ数と“-1”のチップ数が均衡し、且つ互いに、異なる拡散符号から同様に生成した連結符号からそれぞれ任意に抜き出した符号長分のチップ列でチップ配列における同一位置で同時に“1”となる数と同時に“-1”となる数とが等しいものとし、連結符号の任意の位置における符号長分の連続するチップ列の各チップに連続する周波数信号を割り当て“1”のチップで割り当てられた周波数信号を選択して取り出す。

【発明の効果】

【0007】

この発明によれば拡散符号は周期性をもっており、光源波長がドリフトしても、その拡散符号の符号長 FSR 分だけが出力され、互いに直交性が保持されるため、光源波長、符号器の選択波長の校正が不要であり、また全ての拡散符号はその符号長が同一値 FSR であり、互いに直交性をもつため、伝送波長幅をそれ程大きくすることなく、多くの拡散符号を用いることができ、かつ伝送波長幅が大きくないため、波長分散の影響が少ない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

この発明は電波、その他の波動による通信に対しても適用できるが、以下の実施形態ではこの発明を光信号に適用した場合について説明する。まずこの発明を適用できる送信側装置及び受信側装置の例を説明する。

図2(a)にこの実施形態が適用される送信側装置の例を示す。 $n=1, 2, \dots, N$ (N は2以上の整数)とし、光源10_nと符号器11_nの組は光ファイバ14_nを通じて合波器15に接続される。なおこの発明は光通信のみならず電波通信にも適用できるので光源を信号源、光信号を単に信号とそれぞれいうこともある。各符号器11_nにはデータ系列D_nが入力され、データ系列D_nが符号器11_nで光拡散符号に符号化され、光ファイバ14_nを通じて合波器15へ入力され、他の光拡散符号と合成され、合波器15から光符号多重化信号が出力される。図2(a)に示す例では合波器15と各符号器11₁, ..., 11_Nとが離れ、かつこれら合波器と符号器との間の距離が互いに異っていてもよい場合である。

【0009】

図3(a)に示すように符号器11₁, ..., 11_Nと合波器15は同一個所に設けられ、符号器11₁, ..., 11_Nに対し、光源10が共通に設けられていてもよい。図2(a)に示す構成のものと、図3(a)に示す構成のものが組み合わされたものでもよい。

受信側装置は図2(b)に示すように、分配器16に入力された光符号多重化信号はN個の光信号に分配され、それぞれ光ファイバ18₁, ..., 18_Nを通じて復号器12₁, ..., 12_Nに入力され、各データ系列D₁, ..., D_Nが分離復号される。分配器16と復号器12₁, ..., 12_Nとが離れ、その距離は互いに異なってもよい。図3(b)に示すように分配器16と復号器12₁, ..., 12_Nが同一個所に設けられていてもよく、

図2 (b) に示す構成のものと、図3 (b) に示す構成のものとが組み合わされたものでもよい。

【0010】

[実施形態1]

この発明の実施形態1が適用される1系統の通信システムを図4に示す。この実施形態1は、従来の光通信システムと同様に光源10、符号器11、復号器12を具備し、更に、拡散符号を送信する伝送路（光ファイバ13）の周波数分散により周波数に依存する伝播遅延時間に違いが存在するので、拡散符号を構成する各周波数信号の送受信間での遅延時間が同一となるように平準化して補償する分散補償器17をこの実施形態1では具備している。この分散補償器17の補償対象とする周波数帯域は少なくとも拡散符号として用いられる周波数帯域よりも広い。

【0011】

光源10は、符号器11の符号化対象周波数で少なくとも符号長FSRに相当する周波数幅の光信号を出力する。

光源11からの光信号20は、符号器11により周波数領域で拡散符号に符号化される。この実施形態1で用いられる符号器11は従来の光通信システムにおける符号器と異なり、光通信システムにおいて用いる全拡散符号（符号語）の符号長FSRが等しい拡散符号を周波数領域で生成する。この周波数領域での拡散符号は次の性質をもつものである。第n拡散符号の強度は周波数fの関数 $C_n(f)$ であって、この関数値 $C_n(f)$ は0から1の値であり、符号器11の符号化対象周波数領域における任意の符号長FSRの区間での関数値 $C_n(f)$ の積分値はFSRを2で除した値であり、符号器11の符号化対象周波数領域において、同一の関数値が符号長FSRの周期で繰り返す。すなわち、次式が成り立つ。

【0012】

$$C_n(f) = C_n(f + FSR) \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\int C_n(f) = FSR / 2 \quad (2)$$

符号器11で生成された拡散符号を復号するこの実施形態1における復号器12では第n拡散符号 $C_n(f)$ を復号する逆拡散符号 $D_n(f)$ は次式で表される。

$$D_n(f) = C_n(f) - C_{n'}(f) \quad (3)$$

ここで、 $C_{n'}(f)$ は、第n拡散符号 $C_n(f)$ を反転したものであり、その関数値 $C_{n'}(f)$ は関数値 $C_n(f)$ の反転値であり、次式の関係が成り立つ。

$$C_n(f) + C_{n'}(f) = 1 \quad (4)$$

【0013】

第n拡散符号の周波数fでの値 $C_n(f)$ と、第n拡散符号を復号する復号器の逆拡散符号 $D_n(f)$ との内積を、符号器の符号化周波数領域と復号器の復号化周波数領域に含まれる符号長FSR分の連続する周波数領域にわたり積分した値が、零でない有限値FSR/4であり、次式の関係が成り立つ。

$$\int C_n(f) D_n(f) = FSR / 4 \quad (5)$$

第n拡散符号 $C_n(f)$ と、第n拡散符号 $C_n(f)$ 以外の第m拡散符号 $C_m(f)$ ($m = 1, \dots, N$ かつ $m \neq n$ を除く)を復号する復号器の逆拡散符号 $D_m(f)$ との内積を、符号器の符号周波数領域とその復号器の復号化周波数領域に含まれる符号長FSR分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零であり、次式の関係が成り立つ。

【0014】

$$\int C_n(f) D_m(f) = 0 \quad m \neq n, m = 1, \dots, N \quad (6)$$

図2及び図3に示したように多重化するデータ系列は複数個Nであり、これら第1, ..., 第Nデータ系列に第1, ..., 第N拡散符号が割り当てられ、第1, ..., 第N拡散符号の符号長FSRは互いに等しい値とする。符号器11_nの符号化対象周波数領域を拡散符号の符号長FSRより大とし、通常は符号器11_nで第nデータ系列のデータに応じて、光源から入力された少なくとも符号長FSRの周波数幅の光周波数信号を、周波数領域で符号化した光拡散符号 $C_n(f)$ を生成出力する。この出力される光拡散符号 $C_n(f)$ の長

さは1データについて1符号長FSRとされる。例えばデータが“1”の時に光拡散符号 $C_n(f)$ が1符号長分出力される。

【0015】

N個のデータ系列が光符号拡散多重化された信号から第nデータ系列を復号する復号器12_nでは式(3)、式(5)から理解されるように入力された符号多重化信号と第n拡散符号 $C_n(f)$ 及びその反転拡散符号 $C_n'(f)$ との各内積の積分をそれぞれとり、これら積分値の差をとり、その差が所定値以上であれば復号データとして“1”を出力し、所定値以上でなければ復号データとして“0”を出力する。

【0016】

このようにこの実施形態1では、異なる拡散符号同士の符号長が異なる周期符号を用いた従来例と異なり、全拡散符号の符号長が同一で、各拡散符号は式(1)と式(2)で示される性質を保つために、その積分区間を変更しても、各拡散符号の復号器での内積の積分値は変化しない。従って、この実施形態1では、拡散符号で符号化される光源の周波数幅が一定であり、その周波数が符号器の符号化周波数領域と復号器の復号化周波数領域に含まれるならば、光源の周波数変化によって、対応する符号器による拡散符号信号は復号器で同一の入力強度の信号として受信し、対応しない他の拡散符号による信号による干渉は増加しない。例えば図5(a)に示すように光源よりの出力光信号の周波数は $f_{L1} \sim f_{L2}$ であり、この周波数幅はほぼ符号長FSRの自然数倍であり、この周波数幅 $f_{L1} \sim f_{L2}$ は図5(b)、(c)にそれぞれ示す符号器11_nの符号化周波数領域復号器12_nの復号化周波数領域にそれぞれ含まれている。従って光源の出力光の周波数がドリフトにより、例えば破線で示すようにずれても、これが符号化周波数領域及び復号化周波数領域内であれば、復号は入力光符号多重化信号と逆拡散符号 $D_n(f)$ との内積を符号長FSRだけ積分して行われ、かつ式(1)及び(2)の関係があるから、ドリフト前と同一復号結果が得られ、また干渉の増加もない。同様に符号化周波数領域及び復号化周波数領域がドリフトによりずれても、良好な復号が行われる。この符号多重化器により生成された光符号多重化信号を伝送する光ファイバの伝送帯域は符号長FSRより、光源の周波数変動を十分カバーする程度大であればよい。前記符号化周波数領域及び前記復号化周波数領域も前記伝送帯域と同一とすればよい。

【0017】

このため、この実施形態1では、周期符号を用いた従来例のように、符号間干渉を打ち消すための充分多数周期の光源の周期幅(周波数幅)が不要となり、同一の符号長FSRと対応した周波数幅(周期幅)だけあればよく、伝送周波数(波長)帯域幅がそれだけ狭くて済み、伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題を抑止することができる。

更に、分散補償器17を設けることにより伝送距離の違いによる符号間の直交性の崩れも分散の影響も、軽減することができる。

【0018】

以上示したように、この実施形態1では、符号器の符号化対象の周波数領域が拡散符号の符号長FSRより大きな周波数であり、式(1)から式(6)で示す特性を有する符号を用い、且つ分散補償器17を、例えば図2(b)中に破線で示すように復号器の直前、あるいは図2(b)中に破線で示すように符号器の直後に具備することで、符号器と復号器間の距離によらず、光源の出力信号周波数が符号器で符号化対象とする周波数範囲で変化した場合に、光源の出力信号の周波数幅が変化しなければ、対応する符号器の出力信号は復号器で同一の入力強度の信号として受信し、対応しない他の拡散符号による信号による干渉は増加しないため、光源の出力信号周波数は所定の絶対周波数からの変動を許容し、光源の出力信号周波数の校正を不要とすることができる。

【0019】

[実施形態2]

この発明の実施形態2は実施形態1を具体化した例である。この実施形態2では、可能な限り小さなsの値を用いかつ同一のs値でr個の符号を生成する場合に、sは1から最

大符号数 N を r で除した値 N/r までの整数値、 r を 2 の剰余である 0 又は 1 となる値とした場合に、第 n 拡散符号の関数値 $C_n(f)$ として次式で表せるものを用いる。

$$C_n(f) = (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot s \cdot f / FSR + r \cdot \pi / 2)) / 2 \quad (7)$$

この拡散符号の関数値 $C_n(f)$ は 0 から 1 の値であり、符号器 11_n の符号化対象周波数における任意の符号長 FSR の区間での積分値は $FSR/2$ であり、符号器 11_n の符号化対象とする周波数領域において、その関数値が符号長 FSR の周期で繰り返し、実施形態 1 における式 (1) と式 (2) を満たす。

【0020】

この実施形態 2 の拡散符号 $C_n(f)$ の例を図 6 に示す。図 5 の横軸は符号長 FSR で規格化した光周波数、縦軸は強度であり、(a), (b), (c) はそれぞれ $s=1, 2, 3$ に対応し、点線が $r=0$ 、実線が $r=1$ に対応する拡散符号である。この拡散符号 $C_n(f)$ は $C_n(f)=0$ 以外では各チップと対応する周波数信号がその配列順にアナログ的に変化する強度をもち従来の図 1 に示したチップ対応に“1”か“0”の周波数信号をもつ拡散符号とは異なる。

【0021】

第 n 拡散符号 $C_n(f)$ を復号する復号器 12_n の逆拡散符号 $D_n(f)$ は次式で表されるものを用いる。

$$D_n(f) = (1 + \cos(2 \cdot \pi \cdot s \cdot f / FSR + r \cdot \pi / 2)) - 1 \quad (8)$$

第 n 拡散符号 $C_n(f)$ と第 n 拡散符号を復号する第 n 逆拡散符号 $D_n(f)$ との内積を、符号器の符号化周波数領域と復号器の復号化周波数領域に含まれる符号長 FSR 分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零でない有限値 $FSR/4$ となり、第 n 拡散符号 $C_n(f)$ と、第 n 拡散符号以外の第 m 拡散符号を復号する復号器の逆拡散符号 $D_m(f)$ との内積を符号器の符号化周波数領域と復号器の復号化周波数領域に含まれる符号長 FSR 分の連続する周波数領域にわたり積分した値が零であり、実施形態 1 における式 (5) と (6) を満たす。

【0022】

この実施形態 2 に用いられる符号器 11_n の構成例を図 7 に示す。光入力を、光路長の異なる 2 組の方路 41, 42 と、これらと結合した光を 2 組の方路に合分波する 2 組のカプラ 43, 44 とからなるマッハツエンダ干渉計が符号器 11_n として用いられる。カプラ 43 の入力ポートの一方に入力された光は 2 つの出力ポートよりそれぞれ方路 41, 42 に入力される。カプラ 44 の一方の出力ポートには方路 41 と 42 の光路長差で決る周波数とその整数倍の周波数成分の光が主として出力され、他方の出力ポートから他の周波数成分が出力される。この周波数の選択特性はオンオフ的ではなく、なだらかな特性であるため、例えば図 5 (a) では選択周波数 (規格化された) が f_1 とされた場合であり、選択周波数 f_1 で強度が 1 の余弦波状の出力となる。

【0023】

従って符号器 11_n は選択周波数出力ポートから出力 A として式 (7) に示す第 n 拡散符号 $C_n(f)$ の光が出力される。他方の出力ポートから出力 B として反転符号 $C_n'(f)$ が出力される。

実施形態 2 に用いられる復号器 12 の構成例を図 8 に示す。光路長の異なる 2 組の方路 51, 52 と光を 2 組の方路に合分波するカプラ 53, 54 とからなるマッハツエンダ干渉計 55 に光符号多重化信号が入力され、出力側の一方の出力 A として式 (7) に示す第 n 拡散符号 $C_n(f)$ の光周波数信号が出力され、その出力が検出器 56a にて電気信号として検出される。マッハツエンダ干渉計 55 の他方の出力 B として式 (7) に示す第 n 拡散符号 $C_n(f)$ を反転した拡散符号 $C_n'(f)$ が出力され、その出力 $C_n'(f)$ が検出器 56b にて電気信号として検出される。出力 A は入力光符号多重化信号中の拡散符号 $C_n(f)$ と逆拡散符号 $D_n(f)$ との内積値と対応したものであり、出力 B は入力光符号多重化信号中の拡散符号 $C_n(f)$ 以外のものと逆拡散符号 $D_n(f)$ との内積と対応したものであり、検出器 56a の出力は出力 A を符号長 FSR だけ積分した値と対応し、検出器 56b の出力は出力 B を符号長 FSR だけ積分した値と対応する。検出器 56

a の検出した光強度から検出器 56 b が検出した光強度が強度差検出器 57 で減算された強度が出力されて復号器での復号が行われる。例えば強度差検出器 57 の出力がしきい値より大であればデータ “1” が、大でなければデータ “0” が出力される。

【0024】

このように、実施形態 2 も実施形態 1 と同様に、異なる拡散符号同士の符号長が異なる周期符号を用いた従来例と異なり、拡散符号同士が直交しているため、異なる拡散符号同士の符号長分の内積の総和は零であり、直交していない周期符号を用いた従来例より符号間干渉が少ない。

この実施形態 2 では、拡散符号で符号化される光源の周波数幅が一定であり、その周波数が符号器の符号化周波数領域と復号器の復号化周波数領域に含まれるならば、光源の周波数変化の影響を受けないことも実施形態 1 と同様である。また、直交していない周期符号を用いた従来例と異なり、符号間干渉を十分無視できるだけの多周期の光源を必要とせず、伝送帯域は符号長 FSR より、光源の周波数変動分をカバーする程度広ければよく、それ程広くする必要がないため伝送路の波長分散の影響による波形劣化、伝送帯域制限の問題を抑止することができる。

【0025】

また、この実施形態 2 では、周波数、つまり式 (7) 中の s の変更に加えて、符号の開始位置における位相を $\pi/2$ 、つまり式 (7) 中の r で変化させることで、単なる周波数 (s) のみを変更して符号化する場合に比べて倍の拡散符号数を実現することができる。

なお本実施の形態は、以下に示す一つの符号器毎に π 位相の異なる反転した二つの拡散符号を用いる実施形態 2 の変形例と異なり、 r は 2 の剰余の代わりに 4 の剰余、つまり $r = 0, 1, 2, 3$ を用いることも可能であり、この場合 4 倍の拡散符号数を実現することが出来る。

【0026】

[実施形態 2 の変形例]

実施形態 2 として前述したものではデータ系列中のデータ “1” (マーク) の時のみ拡散符号を出力したがデータ “0” (スペース) 時にも拡散符号を出力してもよい。つまり、第 n データ系列中のデータ “1” (マーク) で第 n 拡散符号 $C_n(f)$ を出力し、データ “0” (スペース) で第 n 拡散符号値 $C_n(f)$ の反転拡散符号 $C_n'(f)$ を出力する。このための符号器 11_n としては図 7 中に出力側カプラ 44 の後段に破線で示すように切替器 45 を設け、これに出力 A と B を入力し、切替器 45 をデータ系列 D_n の各データで制御してデータが “1” (マーク) のときは出力 A を出力し、“0” (スペース) のときは出力 B を出力して、ノンリターンツウゼロの変調信号とする。

【0027】

この実施例では拡散符号は、マークのときに式 (9) と (10) が成り立ち

$$\int C_n(f) D_n(f) = FSR/4 \quad (9)$$

$$\int C_n(f) D_m(f) = 0 \quad (10)$$

スペースのときに式 (11) と (12) が成り立つ。

$$\int C_n'(f) D_n(f) = -FSR/4 \quad (11)$$

$$\int C_n'(f) D_m(f) = 0 \quad (12)$$

従って、マークの信号しか送らず、強度差検出器 57 の出力がマークで $FSR/4$ 、スペースで 0 となる前記例と比べてマークとスペースの符号で 2 倍の (3 dB) 大きな信号が強度差検出器 57 の出力として得られる。従って信号対雑音比も 3 dB 向上するため、それだけ符号長 FSR を小さくすることが可能となり、伝送路の波長分散の影響を軽減することができる。なお、図 7 中に破線で示すように、入力側カプラ 43 の前段に切替器 45 を設けて、入力光をカプラ 41 の 2 つの入力ポートの一方と他方にデータ D_n のマークとスペースに応じて切替え入力し、出力側カプラ 44 の一方の出力ポートのみから出力光を出力してもよい。またマーク (“1”) とスペース (“0”) の符号を入替えしても良い。つまりマーク (“1”) 及びスペース (“0”) と拡散符号 $C_n(f)$ 及び $C_n'(f)$ との対応づけは任意でよい。

【0028】

図9に示すように、符号器 11_n として、LN変調器と同様に、電気光学効果を有する例えば LiNbO_3 結晶よりなるプレーナ光波回路基板46上に2本の導波路47、48を構成し、これら導波路47、48の両端部はこれら間にそれぞれカプラ43、44を構成し、電気光学効果を用いて電界による複屈折率変化により、2組の方路41、42の遅延差を与えるために少なくとも一方の方路を構成する、カプラ43、44間の導波路47又は48に電界を印加するための一对の電極49を設けて構成してもよい。

一对の電極49間により印加する電圧は、各拡散符号 $C_n(f)$ に対応した式(7)を満たす光周波数(波長)を符号器 11_n により選択するように調整する。

【0029】

図9中に括弧書きで示すように、プレーナ光波回路基板上に方路51、52、カプラ53、54を構成して復号器 12_n のマッハツエンダ干渉計つまりろ波器も同様に構成できる。この場合は式(8)を満たすように電極49に印加する電圧を調整する。

この図9に示した構成とすることにより、拡散符号 $C_n(f)$ 又は $D_n(f)$ を変更することができ、拡散符号毎に異なる符号器/復号器の組を作成しなくて済むため、装置の製作コストを削減することができる。

【0030】

また図9に示すように、温度が均質に変化する同一プレーナ光波回路基板46上に2組の符号器 11_n と 11_m ($n \neq m$)とを構成し、これら符号器 11_n と 11_m により、式(7)中の s の値が同じで r の値が異なる第 n 拡散符号 $C_n(f)$ 第 m 拡散符号 $C_m(f)$ を生成する。この二つの拡散符号 $C_n(f)$ 、 $C_m(f)$ は、同一周波数で $\pi/2$ の位相数差であるため、それぞれを符号化する符号器 11_n と 11_m が同期しないで温度変動すると、温度変化による屈折率及び光路長変化で導通(ろ波)する光周波数がドリフトし、これら拡散符号 $C_n(f)$ と $C_m(f)$ の相互相関値が劣化する。しかし図9に示す構成によれば符号器 11_n と 11_m が温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装されているため温度変動による相互相関値の劣化を抑止することができる。

【0031】

[実施形態3]

この発明の実施形態3を適用することができる通信システムの構成例は図4に示したものと同様でよい。

この実施形態3における符号器 11_n により生成された拡散符号は実施形態1及び2と同様に、第1～第 N 拡散符号はその符号長が同一長 FSR であり、かつ、互いに直交性がある。そのような拡散符号であり、更に次の性質をもつものである。符号長 FSR の拡散符号 $C_n(f)$ を連続して繰り返して連結した連結符号から符号長 FSR 分の連続するチップを任意に抜き出したチップ列中の“1”のチップ数と“−1”のチップ数が均衡し(同一数)、かつ互いに異なる拡散符号からそれぞれ生成した互いに異なる連結符号から符号長 FSR 分の連続するチップをそれぞれ任意に抜き出したチップ列間でチップ配列の同一位置でチップの値が同時に“1”となる数と同時に“−1”となる数とが等しい。

【0032】

このような符号は、例えばアダマール符号を用いて作ることができる、図10に1次のアダマール行列 H_1 と2次のアダマール行列 H_2 と、アダマール行列の漸化式 H_n とを示す。アダマール符号は、アダマール行列の第1行以外の行を取り出し、0を1、1を−1に置き換えたものである。2次のアダマール行列の場合、アダマール符号は、行列の2行目の符号2[0101]、3行目の符号3[0011]、4行目の符号4[0110]となる。これら符号2～4をそれぞれ連続的に繰り返し連結させた各連結符号はそれぞれ[$\cdots 010101010101 \cdots$]、[$\cdots 001100110011 \cdots$]、[$\cdots 011001100110 \cdots$]となる。ここで、符号3の連結符号と符号4の連結符号は1チップ符号がシフトした関係になるので、この実施形態3では同一の符号となるから、一方のみを用いる。

【0033】

符号器 11_n ではこのような連結符号の各チップ対応にその配列順に連続する周波数を順次割り当て、入力光中の“1”のチップと対応する周波数成分が選択出力されて符号化される。符号 $C_1 = (0101)$ の連結符号と対応する符号器の選択周波数は図 11 (a) に示すようになり、符号 $C_2 = (0011)$ の連結符号と対応する符号器の選択周波数は図 11 (b) に示すようになる。

従って符号器 11_n は光源よりの符号長 FSR のほぼ自然数倍の周波数幅の入力光を連結符号と対応して周波数信号 (成分) を選択するろ波器により構成され、そのろ波選択された周波数信号を第 N データ系列のデータ“1”で出力し、“0”で断にする、あるいは符号器 11_n の入力光を第 N データ系列で断続してもよい。このようにして符号化された各拡散符号は、前述した連結符号から任意に抜き出したチップ列のもつ性質を備え、互いに異なる拡散符号は直交性が保たれる。

【0034】

復号器 12_n も、符号器 11_n と同様に連結符号と対応して入力光の周波数成分 (信号) をろ波選択し、少なくとも符号長 FSR に相当する周波数幅を復号の対象とする。復号器 12_n の構成例を図 12 に示す。光符号多重化信号はスプリッタ 61 によりろ波器 62a とろ波器 62b に分配され、ろ波器 62a により対応する符号器 11_n と同じ順番の波長 (周波数) 信号すなわち同じチップに対応する波長 (周波数) 信号がろ波選択され、ろ波器 62b により、対応する符号器 11_n の符号を反転した符号と対応する波長 (周波数) 信号、すなわち符号器 11_n が選択しないチップに対応する波長 (周波数) 信号がろ波選択される。ろ波器 62a が選択した波長信号の光強度が検出器 63a で、ろ波器 62b が選択した波長信号の光強度が検出器 63b でそれぞれ検出され、検出器 63a の出力から検出器 63b の出力が強度差検出器 64 で減算された強度が出力される。このようにして符号器 11_n の出力する光の内から少なくとも符号を構成する波長数に相当するチップ数の連続する任意の波長を用いて復号される。

【0035】

実施形態 3 によれば光源波長のドリフトに影響されないことを図 13 を参照して説明する。光源波長のドリフトがない状態を図 13 (a) に示す。光源から符号長 FSR 又はこれよりわずかに広い連続する光源波長幅 λ_w の光信号 20 が出力され、符号化波長 (周波数) 領域 31 の符号器 11_n により光信号 20 がそのチップ値が“1”と対応する波長 (周波数) 信号がろ波選択 (符号化) されて光拡散符号 21 が生成出力される。この光拡散符号 21 は、復号化波長 (周波数) 領域 32 の復号器 12_n により復号光 22 としてろ波選択されて復号化される。

【0036】

図 13 (b) に示すように、光源波長が $\Delta\lambda_1$ だけドリフトすると、符号器 11_n において符号化波長領域 31 において光信号 20 を符号化して出力する部分が $\Delta\lambda_1$ だけ同一方向にシフトされ、光拡散符号 21 が出力され、また復号器 12_n において入力光多重化信号を復号する部分が $\Delta\lambda_1$ だけ同一方向にシフトされて、復号光 22 が出力される。

同様に図 13 (c) に示すように光源波長のドリフトが大きく $\Delta\lambda_2$ であっても、そのドリフトした光信号 20 が、符号化波長領域 31 内かつ復号化波長領域 32 内であればそれぞれその領域内で $\Delta\lambda_2$ だけシフトした部分で符号化及び復号化が行われ、何れの場合も、光拡散符号 21 は先述した異なる光拡散符号との直交関係が保持される。

【0037】

〔実施形態 3 の符号器／復号器のろ波器例〕

以下にこの実施形態 3 で用いる光信号を連続的に符号化／復号化する符号器／復号器で用いるろ波器の例を以下に説明する。図 14 にその一例を示す。結合率を任意に設定できる可変カプラ 71 が遅延線 72 を介して多段に接続され、各カプラ 71 の遅延線 72 が接続されていない出力ポートの出力がそれぞれ位相シフタ 73 を介して合成用カプラ 74 にて集約されてろ波選択出力信号として出力される。このろ波器による選択波長は、例えば Journal of Lightwave technology, vol.12, No.4, 1994, pp 664-669 「Photonic FDM Multichannel selector using coherent optical transversal filter」 Sasayama 他著に示

されるように任意の順番の波長を選択して所定の周期 (FSR) で連続して繰り返すものとするのが可能である。つまり拡散符号の各“1”のチップと対応した波長を選択波長したものを符号長FSRを周期として連続的に繰り返すものとするができる。

【0038】

この実施形態3では、高々連結前の拡散符号長FSRに相当する光周波数幅にて符号化拡散符号を伝送することができるため、従来のサイン関数で符号化する方法に比べて必要とする光源の光周波数の幅を小さくすることができるため、伝送路の波長分散の影響を少なくすることができる。更に、実施形態1と同様に、分散補償器17を設けることにより、伝送距離の違いによる拡散符号間の直交性の崩れも軽減することができる。

【0039】

以上示したように、この実施形態3では、光源波長の選択波長が符号器で連結符号として符号化する光周波数範囲であればシフトした場合も、少なくとも連結前の元の拡散符号のチップ長FSRに相当する波長幅の入力があれば、符号器と復号器間の距離によらず、対応する符号器の信号は復号器で同一の入力強度として受信し、対応しない他の符号後の入力は直交性を保持するための符号間干渉をキャンセルすることで、光源波長の校正が不要な光通信システムを実現することも可能となる。

【0040】

[実施形態3の変形復号器]

実施形態3における復号器12_mの変形例を図15に示す。ろ波器62は、対応する符号器11_nと同じ順番の波長すなわち同じ各“1”のチップに対応する波長を出力Aとしてろ波選択し、対応する符号器11_nと反転した波長すなわち符号器11_nが選択しないチップに対応する波長を出力Bとしてろ波選択して出力する。ろ波器62よりのこれら出力AとBは検出器63aと63bに入力され、その光強度がそれぞれ検出され、検出器63aの出力から検出器63bの出力が強度差検出器64で減算された強度が出力される。この強度差検出器64の出力は制御部65に入力され、制御部65はろ波器62のろ波選択波長(周波数)をずらして強度差検出器64の出力が最大になるようにする。

【0041】

図16に図15中のろ波器62の具体例を示す。このろ波器62は符号器としても用いることができる。このろ波器62は、遅延線75により異なる光路長とされた2組の方路76a、76bと、光を2組の方路に合分波する、方路76a、76bを介して接続されたカップラ77と、方路76a、76bの一方に挿入された位相シフタ73とからなる多段のマッハツエンダ干渉計にて構成されて、波長を周期的に選択する。このろ波器62による選択波長は、例えばJournal of Lightwave technology, vol.13, No.1, 1995, pp 73-82 [synthesis of coherent two-port lattice form optical delay-line circuit] Jinguji他著に示されるように任意の順番の波長を選択して所定の周期(FSR)で連続して繰り返すことが可能である。このろ波器62の終段のカプラ77の2つの出力ポートの一方から出力Aが、他方から出力Bが出力される。符号器として用いる場合は一方の出力、例えば出力Aのみがろ波選択出力とされる。

【0042】

図16に示したろ波器は各段のカプラの両ポート出力が次段へ供給され、終段のカプラ77で出力Aは入力1/2であるが、図14に示したろ波器では出力は、カプラ74の段数分の1が出力となるため、符号器として用いる場合は、図16に示したろ波器の方がカプラによる分岐損が少ない。

なお図15中のろ波器62としては前述したように、図16に示したものの、図14に示したものなどを用いることができるが、選択波長(周波数)をずらす(シフトさせる)ためには遅延線の遅延量、位相シフタのシフト量、可変カプラの分岐比の1つないし複数を調整すればよい。この調整可能最大値は符号長FSRあればよい。

【0043】

選択波(周波数)を調整することができるろ波器62の例を図17に示す。この例では図9を参照して説明したと同様な電界による複屈折率変化を用いて又は温度による熱光学

効果を用いて屈折率変化を発生させるための電極又はヒータを具備することで遅延量を変更可能な遅延線 75' が用いられ、方路 76a と 76b との光路差を調整することが可能とされる。この方路 76a, 76b と光を 2 組の方路に合分波する 2 つのカプラ 77 からなる多段のマッハツエンダ干渉計にてろ波器が構成される。このろ波器による選択波長は、熱光学効果又は電界による複屈折率変化を用いて遅延量を変更する遅延線 75' の遅延量を変更することで、ろ波器を構成する各マッハツエンダ干渉計の選択する波長をシフトして符号器 11_n や復号器 12_n の符号化符号、復号化符号の変更や符号化符号、復号化符号の選択周長のシフトを行う。

【0044】

符号器 11_n あるいは復号器 12_n に用いるろ波器の遅延線の遅延量の変更、調整できるもの、つまり可変遅延線としては図 18 に示すように複数の方路と一つの方路を選択接続する二つの切替器又はカプラ 77 と 78 の間に遅延量が異なる複数の遅延線 75₁ ~ 75_p (75_p は遅延量ゼロ) が並列接続される。光入力を選択した一つの遅延線 75_p (p = 1, ..., P) を通って光出力して出力する。カプラの代わりに切替器を用いるとカプラの分岐損による光損失が減少して望ましい。所望の遅延量を得るために熱光学効果又は電界による複屈折率変化を用いなくて遅延量が異なる複数の遅延線を切り替えるためにより大きな遅延量変化を実現することが可能となる。

【0045】

このような可変の遅延線としては更に図 19 に示すように、遅延線 81 を備える方路と遅延線を備えない方路との一方に切替え接続する切替器 82 とが多段接続され、これら複数の切替器 82 の切替え状態を変更して、光入力の遅延量を変更するようにしてもよい。

各遅延線 81 は遅延量が互いに異なるものにするとよい。光入力が通過する遅延線 81 の組合せを変更して遅延量を調整する。図 18 に示したものより少ない遅延線により同等の効果が得られる。

【0046】

次に実施形態 3 によれば符号器 11_n の選択波長 (周波数) がドリフトしても良好に復号が行えることを図 20 を参照して説明する。図 20 において図 13 と対応する部分に同一参照番号を付けてある。図 20 (a) は符号器選択波長 (周波数) のドリフトがゼロの場合であり、図 13 (a) に示した場合と同様に動作する。図 20 (b) に示すように符号化選択波長が $\Delta\lambda_1$ ドリフトすると、光入力は光拡散符号 21' のように選択符号化される。図 20 (c) に示すように、符号化選択波長が比較的大きく $\Delta\lambda_2$ ドリフトすると、光入力は光拡散符号 21'' のように選択符号化される。

【0047】

光拡散符号 21', 21'' のいずれも、その符号長は FSR であり、従って、先に述べたように連結符号から連続するチップを FSR 分だけ切り出したチップ列と、光拡散符号 21', 21'' は同一の性質をもつものとなっている。そのため図 20 (b), (c) にそれぞれ示すように復号器 12_n で光拡散符号 21', 21'' の各波長 (周波数) 信号を選択した復号ろ波拡散符号 22', 22'' が得られ、良好に復号することができる。なお、復号化選択波長 (周波数) がドリフトした場合は図 15 を参照して説明した復号器 12_n により復号化選択波長 (周波数) をシフトして良好な復号を行うことができる。

【0048】

以上述べたように実施形態 3 によれば、光源波長 (周波数)、符号化選択波長 (周波数) 領域 31、復号化選択波長 (周波数) 領域 32 の一つまたは複数のドリフトしても光源より光信号の波長 (周波数) 帯がこれら領域 31 及び 32 (復号化選択波長領域 32 はそのシフト制御による領域を含む) 内にあれば、復号器での入力強度の劣化がなく、他の拡散符号との直交性も保持され、良好に復号することができる。

【0049】

[実施形態 3 の変形符号器、復号器]

実施形態 3 の符号器 11_n 及び復号器 12_n のろ波器の他の例を図 21 に示す。光入力はろ波器 84 に入力され、このろ波器 84 は拡散符号を構成する各チップの波長 (周波数)

) 信号を異なるポートに出力し、かつ符号長に1チップ加えた波長(周波数)離れた波長(周波数)信号を同一のポートに出力する。例えば拡散符号が4つのチップで構成され、そのチップ配列順に波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 が順次割り当てられているとすると、ポート1には波長 $\lambda_1 + q \text{FSR}$ ($q=0, 1, 2, \dots$)が、ポート2, 3及び4にはそれぞれ $\lambda_2 + q \text{FSR}$, $\lambda_3 + q \text{FSR}$ 及び $\lambda_4 + q \text{FSR}$ が出力される。このように連続する波長を繰り返し異なるポートに出力するろ波器としては波長数と波長間隔の積がFSR (Free Space Range) に等しいAWG (Array Waveguide Grating) を用いることができる。

【0050】

このろ波器84の拡散符号の選択波長、つまり“1”のチップと対応する波長が出力されるポートを方路85によりカプラ又は合波器86aに接続し、そのカプラ又は合波器86aの出力を出力Aとして出力する。拡散符号の“-1”のチップに対応する波長、つまり非選択波長が出力するポートを方路87によりカプラ又は合波器86bに接続して、そのカプラ又は合波器86bの出力を出力Bとして出力する。図21の例では図11(b)に示した拡散符号 $C_2 = (0011)$ についての方路接続を示している。 $\lambda_1 + q \text{FSR}$, $\lambda_2 + q \text{FSR}$ を出力するポート1と2は方路87に合波器86bに、 $\lambda_3 + q \text{FSR}$, $\lambda_4 + q \text{FSR}$ を出力するポート3, 4は合波器86aにそれぞれ接続する。

【0051】

その図21に示した構成のろ波器によれば符号器11_nのろ波器として、また復号器12_n中のろ波器として使用できることは容易に理解できる。

なお、符号器11_nとしてはカプラ又は合波器86a, 86bの一方とそれに対する方路85又は87を省略しても良い。また、カプラ又は合波器86a, 86bとしては、波長に関わらず光を分岐合流して分岐損が発生するカプラよりも、AWGを前記例とは逆に分波器ではなく合波器として用いた方が分岐損による光損失が軽減できる点でよい。このろ波器は図14に示されたろ波器より構成部品が少ないため光損失が少ない利点がある。

【0052】

符号器11_nとしては図22に示すように構成することもできる。図21中のろ波器84と同様のものを用い、その各ポートを方路89₁, ..., 89_Eを通じて光を導通するか否か選択するスイッチ91₁, ..., 91_E (Eは拡散符号を構成するチップ数)をそれぞれ通じて合波器92に接続する。スイッチ91₁, ..., 91_E中の拡散符号のチップが“1”と対応するものはオンにし、“-1”と対応するものはオフとする。

ろ波器84を用いて復号器を構成した例を図23に示す。ろ波器84の各ポートに接続された方路89₁, ..., 89_Eを合波器92aと合波器92bのいずれかに切替接続する切替器93₁, ..., 93_Eを設け、切替器93₁, ..., 93_Eを、拡散符号の“1”のチップと対応するものは合波器92a、“-1”のチップと対応するものは合波器92bにそれぞれ接続する。合波器92a, 92bの各出力は検出器63a, 63bにそれぞれ供給され、その後は図12、図15に示したものと同様である。

【0053】

図22、図23に示した構成によれば単一の符号器/復号器で任意の拡散符号を生成/復号できるように設定することができる。

ろ波器84を用いる符号器の他の例を図24に示す。光入力光サークキュレータ94を通じてろ波器84に入力され、方路89₁, ..., 89_Eの端に光を反射するか否か選択設定することができる選択反射器95₁, ..., 95_Eが接続され、反射器95₁, ..., 95_Eにより反射された光はろ波器84により合波され、サークキュレータ94aより、光入力と分離されて出力される。選択反射器95₁, ..., 95_Eは拡散符号の“1”のチップ対応するものは反射に、“-1”のチップに対応するものは非反射に設定する。

【0054】

ろ波器84を用いる復号器の他の例を図25に、図23、図24と対応する部分に同一参照符号を付けて示す。方路89₁, ..., 89_Eの端に光を反射するか導通するか選択設定することができる導通/反射切替器96₁, ..., 96_Eを接続する。導通/反射切替器

96₁, ..., 96_Eを導通した光を合波器92aで合波して検出器63aへ供給する。導通/反射切替器96₁, ..., 96_Eで反射された光はろ波器84で合波してサーキュレータ94を通じて検出器63bへ供給する。導通/反射切替器96₁, ..., 96_Eは拡散符号の“1”のチップと対応するものは導通に、“-1”のチップと対応するものは反射に設定する。この構成では図23に示した復号器に対し合波器を一つ削減できる。

【0055】

図21～図25中に破線で示すように方路89₁, ..., 89_Eごとに損失器90₁, ..., 90_Eを挿入してろ波器48の出力方路毎の光強度比に応じた光損失を付与して、AWGに基づき生じるおそれがある方路毎の数dBの光強度差を平準化することが望ましい。このようにすることにより波長毎の光強度の強弱による雑音を削減できる。

【0056】

図26に、ろ波器84を用いる復号器の更に他の例を示す。この例は図11(a), (b)に示した符号語C₁ = (0101)とC₂ = (1100)の各拡散符号を復号する場合に適用した例である。検出器63₁, ..., 63₄中の拡散符号中の“1”のチップに対応する出力を正の出力とし、“-1”に対応する出力を負の出力として強度差検出器へ供給する。符号語C₁に対する強度差検出器64_nには検出器63₁と63₃の出力が正として、検出器63₂と63₄の出力が負として供給され、強度差検出器64_nでこれら検出出力が加算されて復号信号出力とされる。符号語C₂に対する強度差検出器64_mには検出器63₁と63₂の出力が正として、検出器63₃と63₄の出力が負として供給され、これらが強度差検出器64_mで加算され、復号信号として出力される。強度差検出器64で、拡散符号中の“1”のチップに対応する各検出器の出力の和をとり、“-1”のチップに対応する各検出器の和をとり、前者の和から後者の和を差し引いて復号信号出力としてもよい。

【0057】

この構成によれば、符号語毎に光を分岐して復号しなくて良いので、それだけ光損失が少ないものとなる。なお図15を参照して説明したように、1つの復号信号出力が最大となるようろ波器84のろ波波長(周波数)を制御することが好ましい。

図27はろ波器84を用いる復号器の更に他の例を示す。分散補償器として電気的遅延時間付加器を用いた場合である。ろ波器84の各出力方路毎の検出器63₁, ..., 63₄が切替器97により正と負の符号を付与して符号語毎に出力され、拡散符号を構成する各チップ対応検出出力に対し遅延時間付加器98により、個別に電気的に遅延され、伝送路での光周波数毎に異なる遅延時間による各チップの到着時間の違いが平準化され、これら遅延時間の平準化を受けた検出器出力が強度差検出器64_n, 64_mでそれぞれ加算される。この例では電気信号とされた状態で分散補償を行うため、光信号での分散補償の必要性が軽減できる。また切替器97の切替器を設定変更することにより任意の拡散符号を復号することができる。遅延時間付加器98は省略してもよい。

【0058】

[他の変形例]

符号器11_nのろ波器として出力Aとその反転符号出力Bとを出力するものを用い、例えば図16に破線で示すように、ろ波器の出力側に切替器45を接続して、データ系列D_nで切替器45を制御してデータがマーク(“1”)のときは出力Aの出力を、スペース(“-1”)のときは出力Bの出力を切替えて出力し、ノンリターンツウゼロ信号として出力する。この場合も図7を参照して説明したようにろ波器の出力側ではなく入力側に切替器45を設けてもよい。また図7において破線の構成を付加した場合と同様に3dBの利得が得られる。

【0059】

図28に示すように同一のプレーナ光波回路基板46上に一組の符号器11_nと復号器12_mを実装する。これら符号器11_nの第n拡散符号と復号器12_mの第m拡散符号は式(7)中のsの値が同じでrの値が異なるものである。これら符号器11_n及び復号器12_mの組を通信システムの一方の位置に設け、この通信相手となる通信システムの他方

位置に符号器 11_n 及び復号器 12_n の組を設ける。その一方に位置する復号器、例えば 12_m で受信する拡散符号の周波数に合わせてのその組のプレーナ光波回路基板の温度を図 15 を参照して説明したように温度を調整する。符号器 11_n と復号器 12_m とが、温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装されているため、前記温度調整により、符号器 11_n のろ波器の選択する周波数が復号器 12_m のろ波器の選択する周波数と同期制御される。従って前記温度を調整することで温度を調整した側の符号器、この例では 11_n から送出する第 n 拡散符号の周波数は温度を調整しない側の第 m 拡散符号と相互相関値を低く調整することができる。図 9 を参照して同一基板 46 上に 2 つの符号器 11_n と 11_m を構成する場合と同様に、個別に温度変化が発生すると、相互相関値が劣化する符号を符号化する符号器同士を、温度が均質に変化する同一のプレーナ光波回路基板上に実装するために相互相関値の劣化を抑止することができる。更に、図 9 に示したものをを用いる場合は 1 ユーザ（利用者）に 2 符号割り当てるために、システム全体として収容可能なユーザ数が半減する。しかし図 28 に示す構成によれば、復号器と符号器の組合わせを用いるため、反射光による干渉が無い符号を用いながら、システム全体として使用可能なユーザ数が半減することはない。なお、この実施形態では実施形態 2 で用いた拡散符号について示したが、この実施形態は、実施形態 3 のアダマール符号で互いにシフトした関係に有る符号もチップのシフトが抑制できるので同様に適用することが出来る。

【0060】

図 29 に示すように複数收容局の装置と、これら收容局装置からの信号を伝達する複数の光ファイバと、これら複数のファイバからの信号を単一光ファイバ 100 に集線する集線回路 99 と、集線回路から単一光ファイバを介して集線後の信号を受ける中央局装置とからなる光通信システムが想定される。このような構成において、複数の光ファイバからの信号を単一ファイバに集線する集線回路 99 に各收容局装置の符号器を配置する。つまりこの場合は図 3（a）に示した構成となる。このようにして收容局と中央局との距離の違いによらず、全收容局からの信号を同一の波長分散とすることができるため、收容局に対応する全符号器に対して同一の分散補償とすることができる。従って集線回路 99 から中央局装置を接続する光ファイバ 100 の光周波数に依存する遅延時間を平準化するように補償する単一の分散補償器で、全符号器の分散補償ができる。また符号器を集中配置しているために全符号器の周波数の調整が一ヶ所で簡易にできる。

【0061】

また実施形態 1 乃至 3 に共通する拡散符号の性質は次の通りである。同一符号長の異なる拡散符号から任意の二つの拡散符号を選択した場合にその第 1 の拡散符号と第 2 の拡散符号が同時にチップ配列上の対応チップの値で“1”となるチップ位置の数と第 1 の拡散符号が“1”となり第 2 の拡散符号が“-1”となるチップ位置の数が等しいか

第 1 の拡散符号と第 2 の拡散符号が同時に“-1”となるチップ位置の数と第 1 の拡散符号が“-1”となり第 2 の拡散符号が“1”となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たし、

上記拡散符号を連続して繰り返して連結した連結符号から前記符号長分の連続するチップを任意に抽出したチップ列中の“1”のチップ数と“-1”のチップ数が抽出したチップ列によらず同一で、

互いに異なる任意の二つの拡散符号についてそれぞれ連続して繰り返し連結した互いに異なる連結符号のそれぞれから前記符号長分の連続するチップを任意に抽出した第 1 のチップ列と第 2 のチップ列間で第 1 のチップ列と第 2 のチップ列が同時に“1”となるチップ位置の数と第 1 のチップ列が“1”となり第 2 のチップ列が“-1”となるチップ位置の数が等しいか、第 1 のチップ列と第 2 のチップ列が同時に“-1”となるチップ位置の数と第 1 のチップ列が“-1”となり第 2 のチップ列が“1”となるチップ位置の数が等しいかの少なくとも一方を満たす拡散符号であり、拡散符号を構成するチップにその配列と対応して連続する周波数（波長）が順次割り当てられる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

- 【図 1】従来の光符号多重化方法のシステム構成と、その動作説明のための図。
- 【図 2】この発明が適用される多重通信システム構成例を示す図。
- 【図 3】この発明が適用される他の多重通信システム構成例を示す図。
- 【図 4】この発明が適用される通信システム構成例を示す図。
- 【図 5】光源周波数のドリフトと、符号化周波数領域と復号化周波数領域との関係例を示す図。
- 【図 6】実施形態 2 における拡散符号の例を示す図。
- 【図 7】実施形態 2 の符号器の構成例を示す図。
- 【図 8】実施形態 2 の復号器の構成例を示す図。
- 【図 9】実施形態 2 の符号器／復号器のろ波器の構成例を示す図。
- 【図 10】アダマール行列の例と漸化式を示す図。
- 【図 11】実施形態 3 に用いる 2 次のアダマール行列に対応する拡散符号（連結符号）の例を示す図。
- 【図 12】実施形態 3 の復号器の構成例を示す図。
- 【図 13】実施形態 3 において光源波長ドリフトが生じない場合と生じた場合の光源波長、符号化波長領域、符号化信号、復号化波長領域、復号ろ波信号の例を示す図。
- 【図 14】実施形態 2 の符号器／復号器のろ波器の構成例を示す図。
- 【図 15】実施形態 3 の復号器の他の構成例を示す図。
- 【図 16】実施形態 3 の符号器／復号器のろ波器の他の構成例を示す図。
- 【図 17】実施形態 3 の符号器／復号器のろ波器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 18】実施形態 3 の符号器／復号器のろ波器に用いる可変遅延線の例を示す図。
- 【図 19】実施形態 3 の符号器／復号器のろ波器に用いる可変遅延線の他の例を示す図。
- 【図 20】実施形態 3 における光源波長、ドリフト有／無の符号化波長領域、光拡散符号、復号化波長領域、復号ろ波光の関係例を示す図。
- 【図 21】実施形態 3 の符号器／復号器のろ波器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 22】実施形態 3 の符号器の他の構成例を示す図。
- 【図 23】実施形態 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 24】実施形態 3 の符号器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 25】実施形態 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 26】実施形態 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 27】実施形態 3 の復号器の更に他の構成例を示す図。
- 【図 28】実施形態 2 の符号器及び復号器の組み合わせ構成例を示す図。
- 【図 29】この発明を適用することができる通信システム構成例を示す図。

【書類名】 図面
【図1】

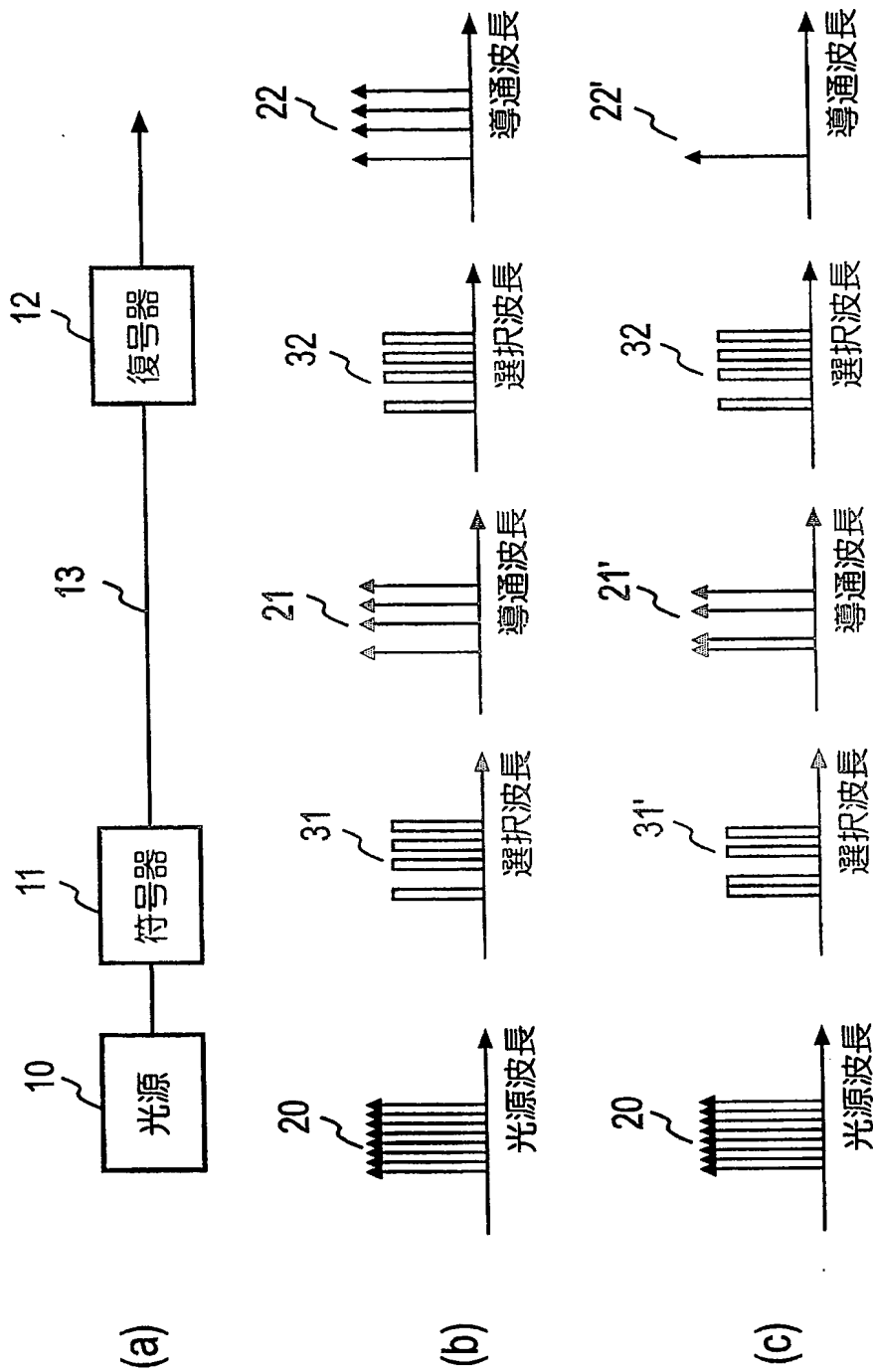


図1

【図 2】

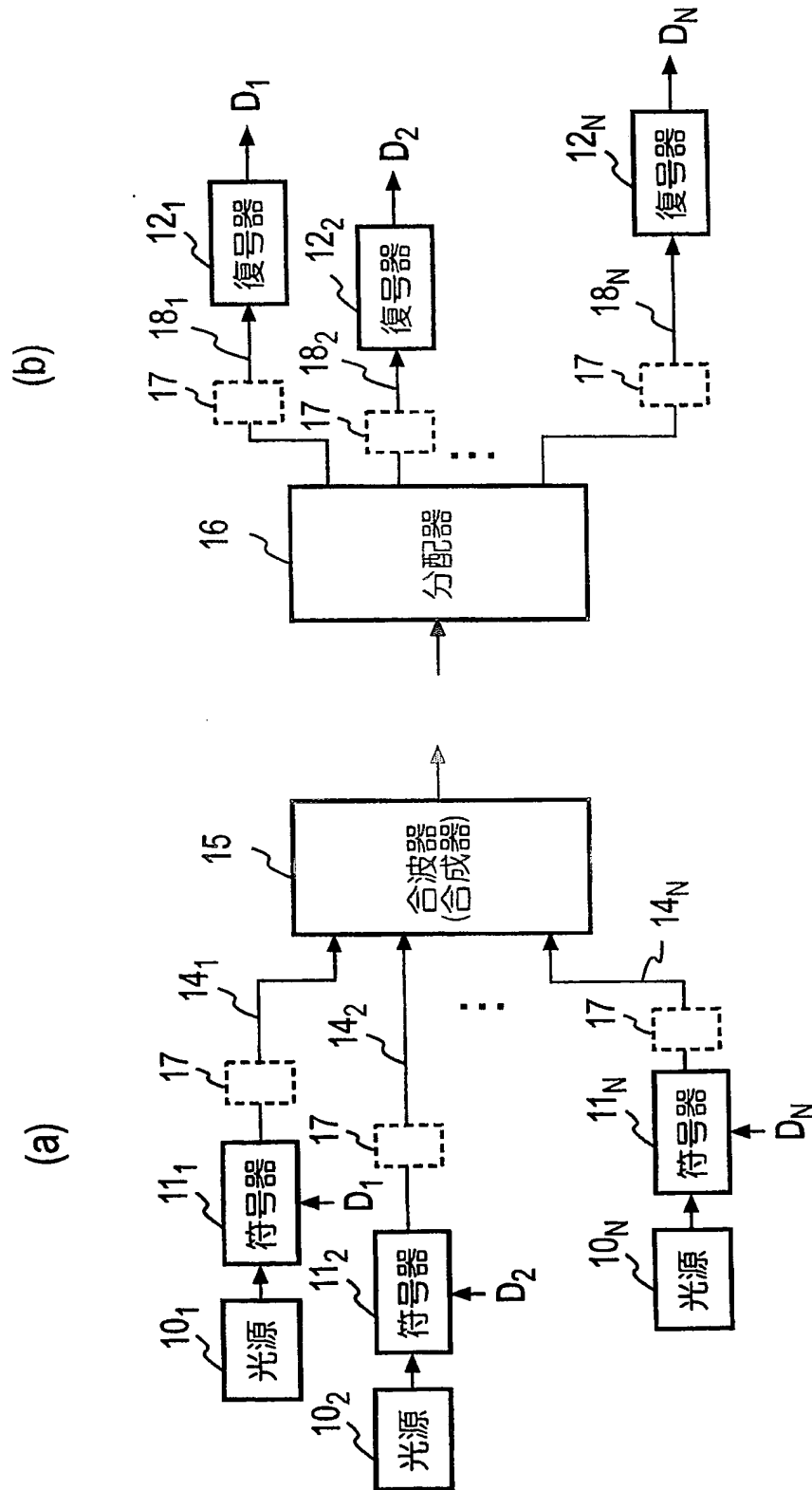


図2

【図 3】

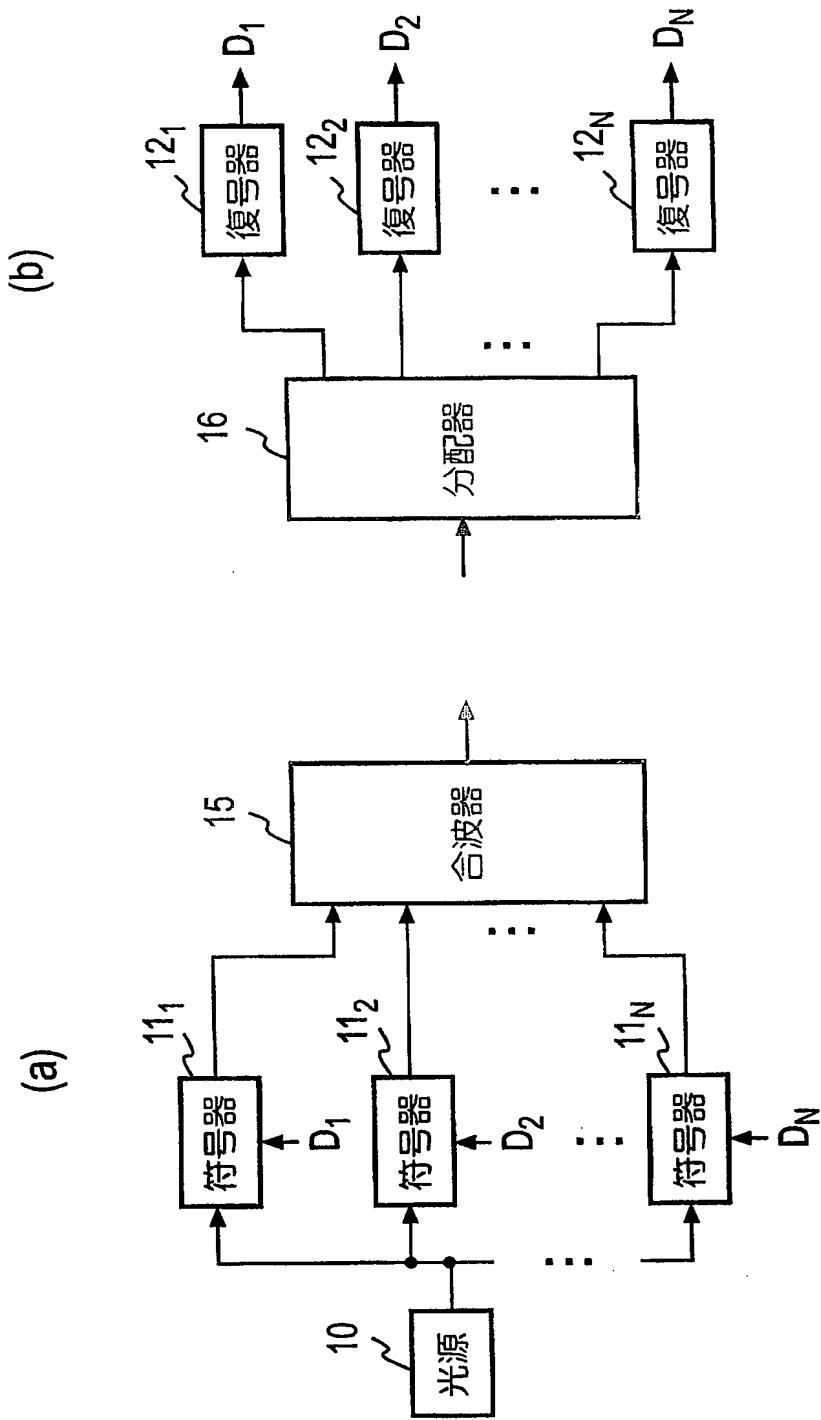


図3

【図 4】

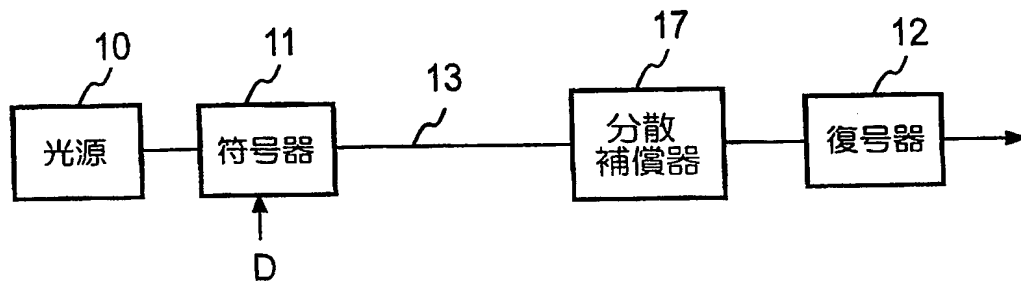


図4

【図 5】

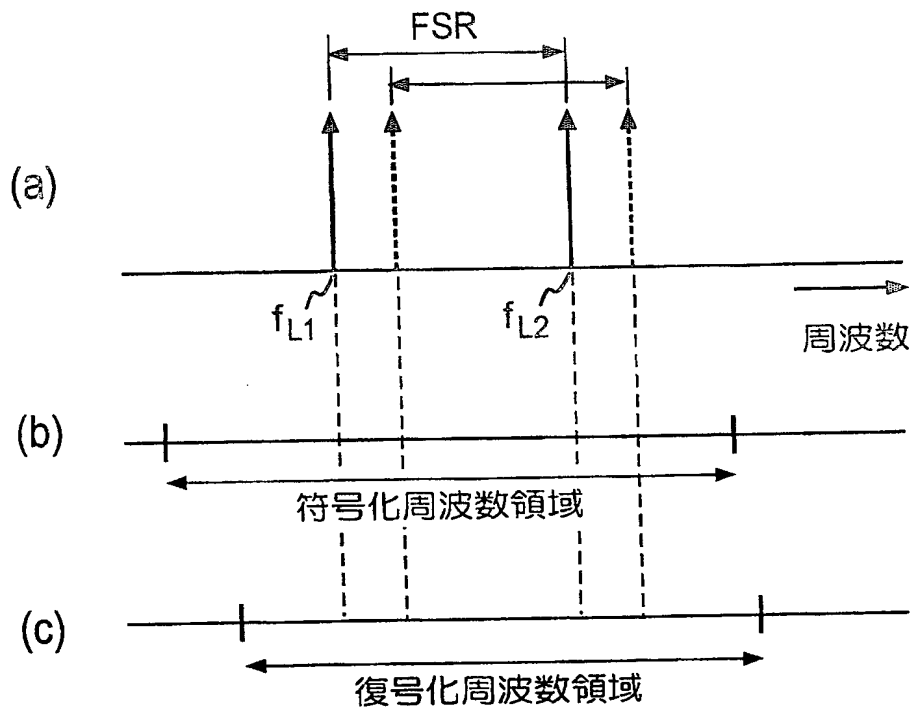


図5

【図 6】

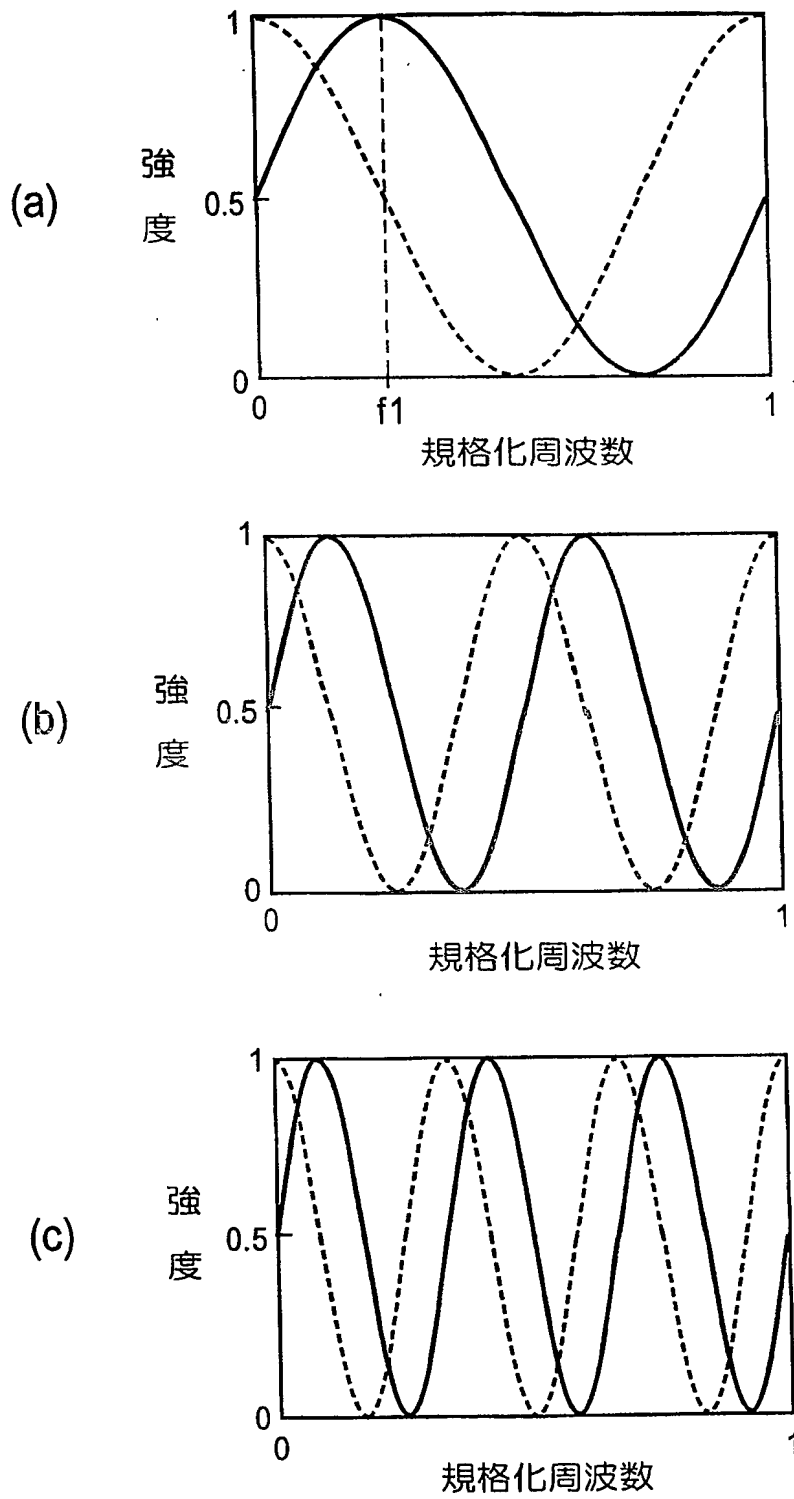


図6

【図 7】

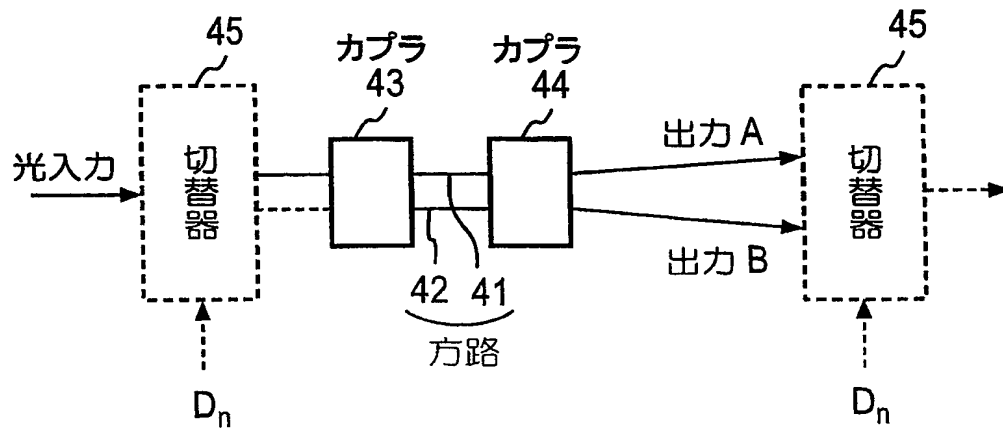


図7

【図 8】

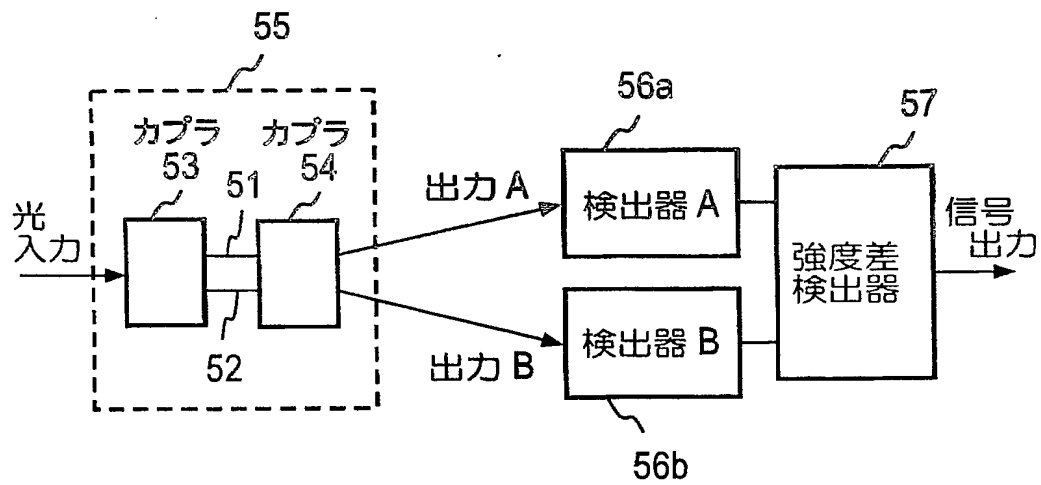


図8

【図 9】

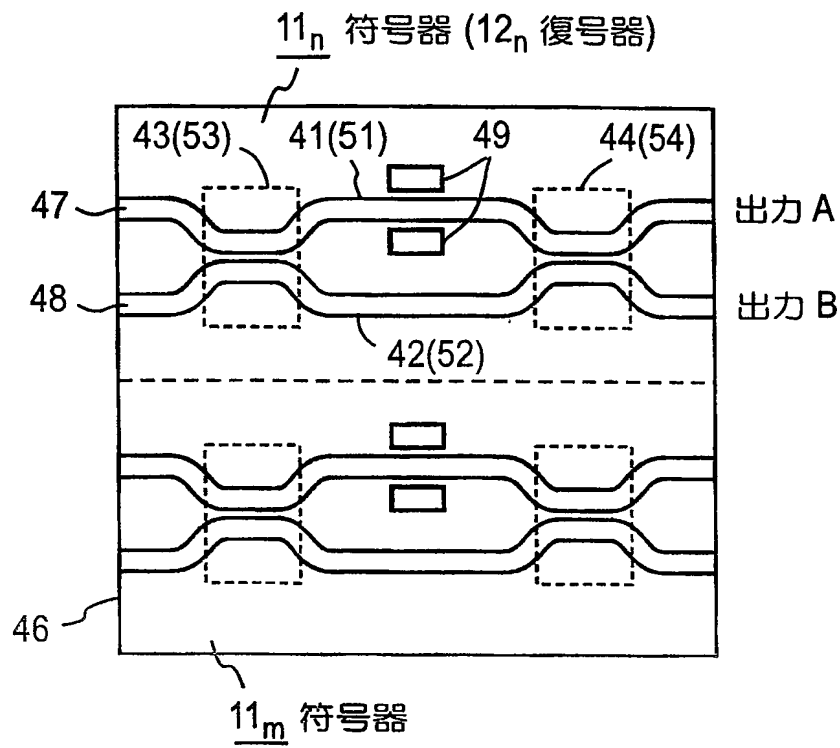


図9

【図 10】

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} H_1 & H_1 \\ H_1 & H_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$H_n = \begin{pmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & H_{n-1} \end{pmatrix} \quad (n > 1)$$

図10

【図 11】

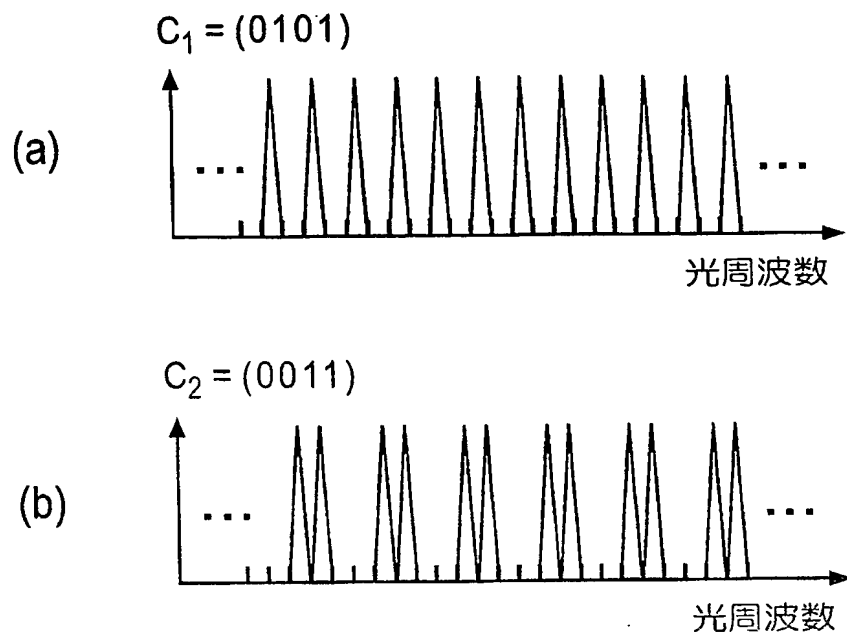


図11

【図 12】

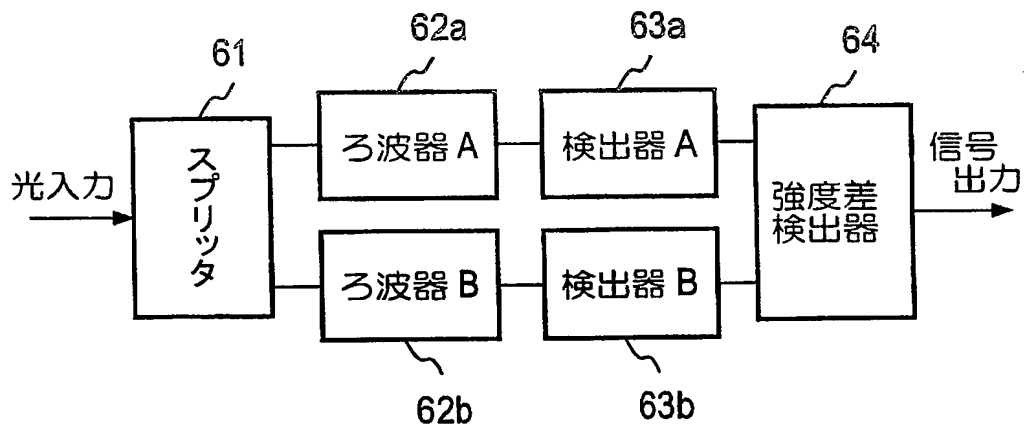


図12

【図13】

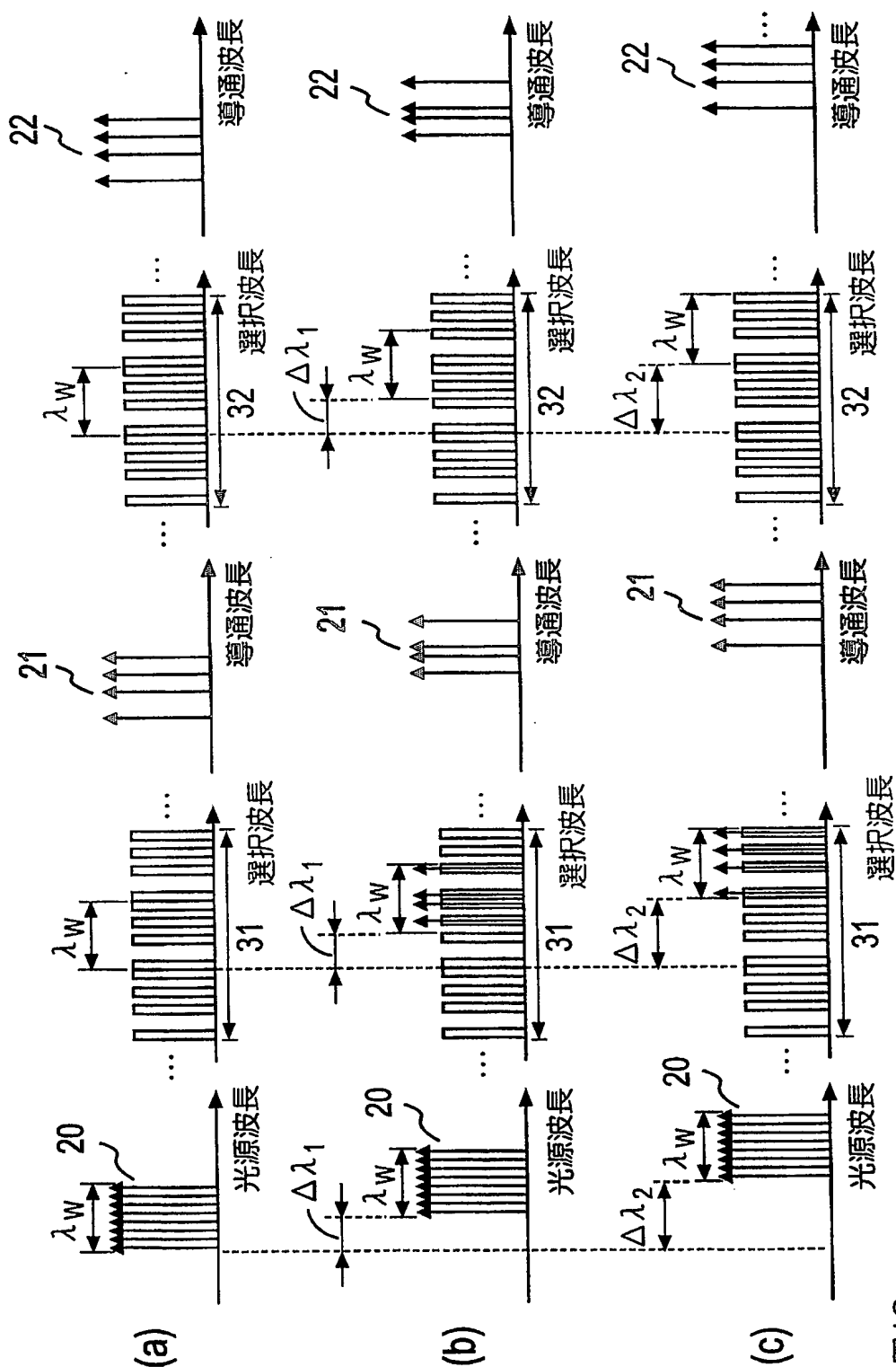


図13

【図 14】

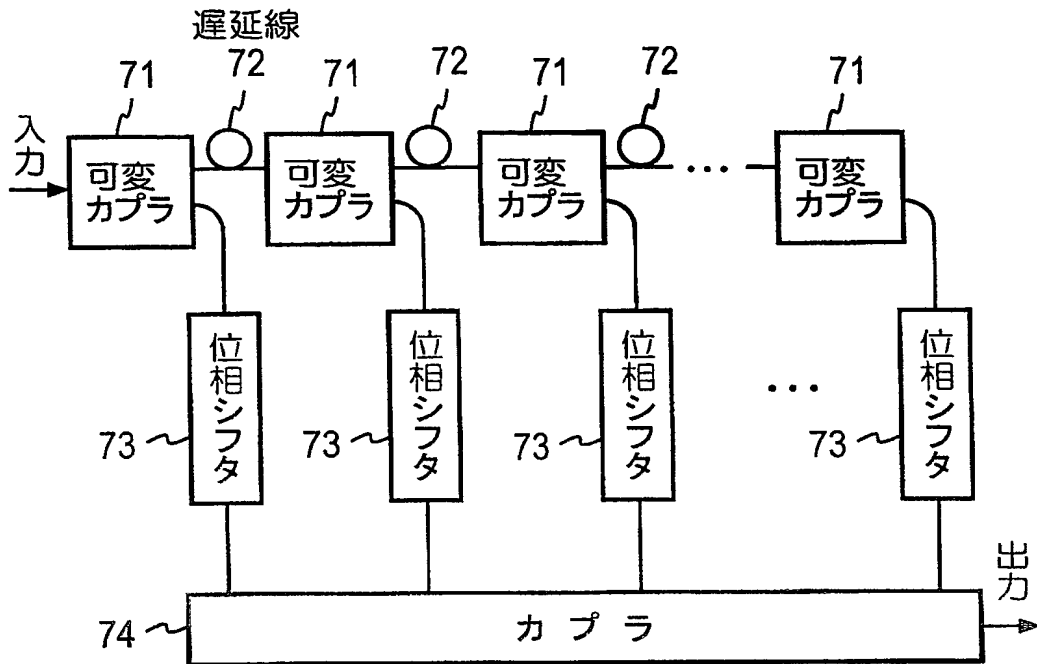


図14

【図 15】

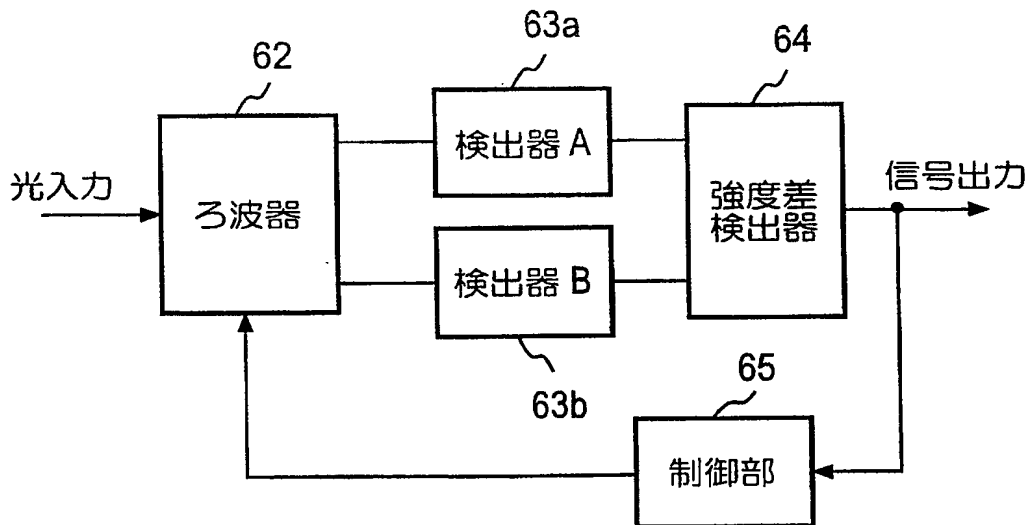


図15

【図 16】

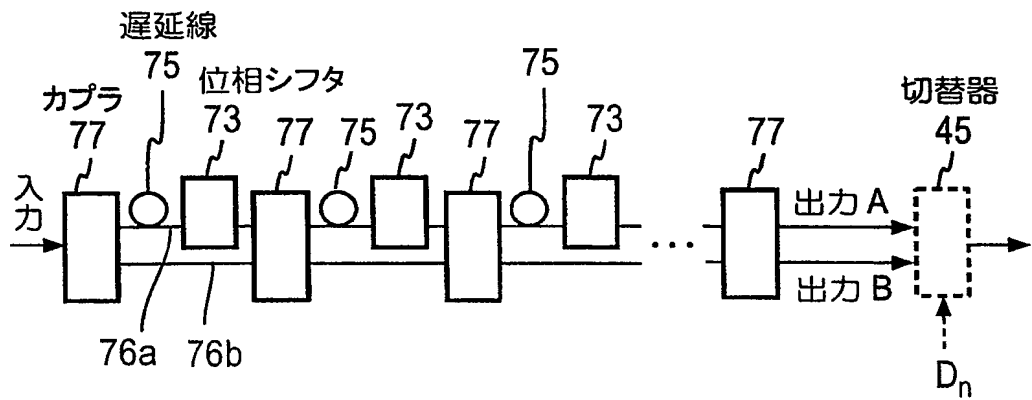


図16

【図 17】

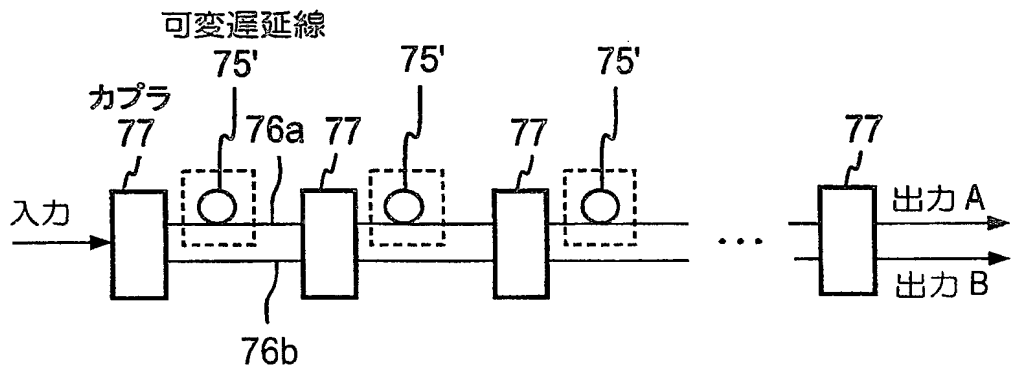


図17

【図 18】

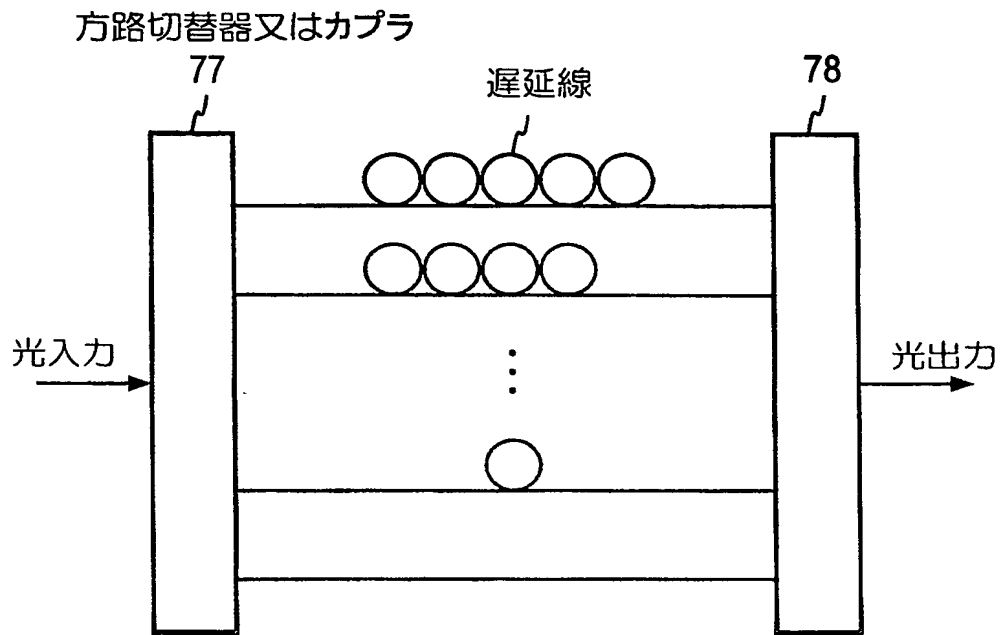


図18

【図 19】

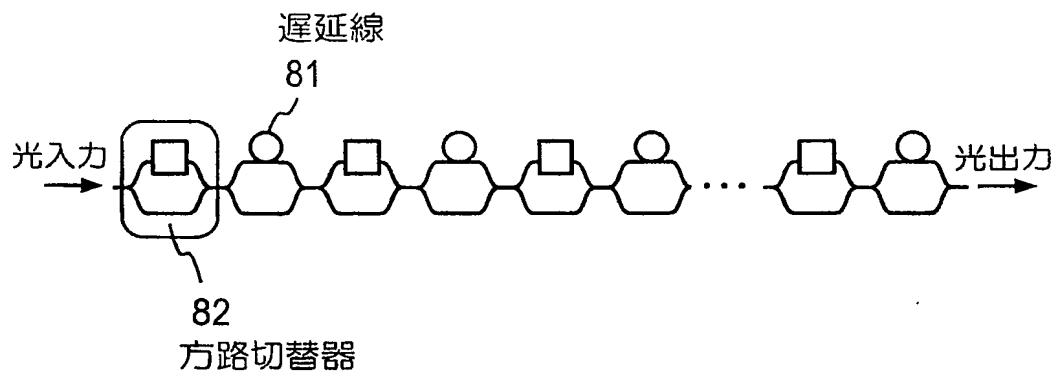


図19

【図20】

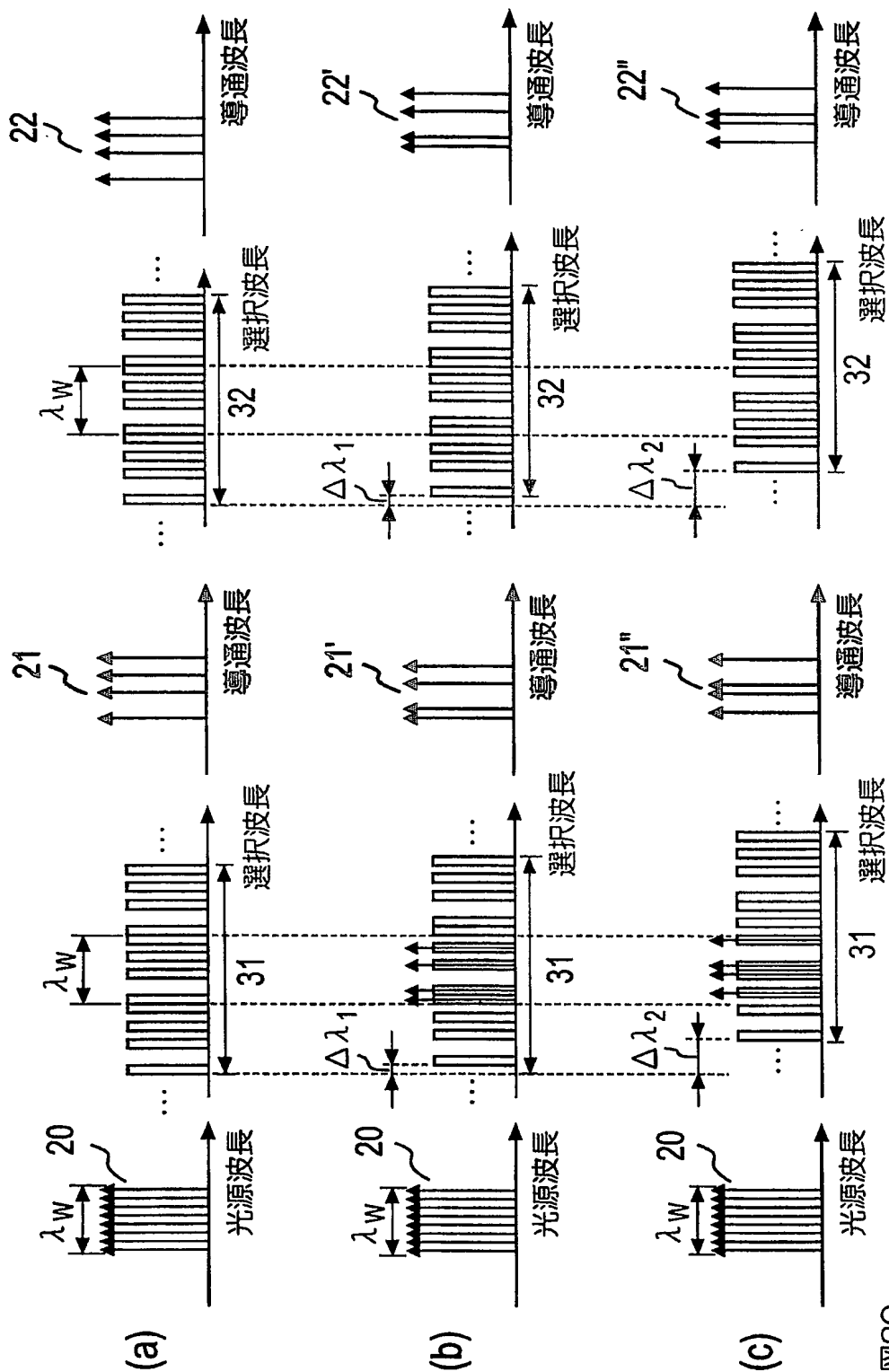


図20

【図 21】

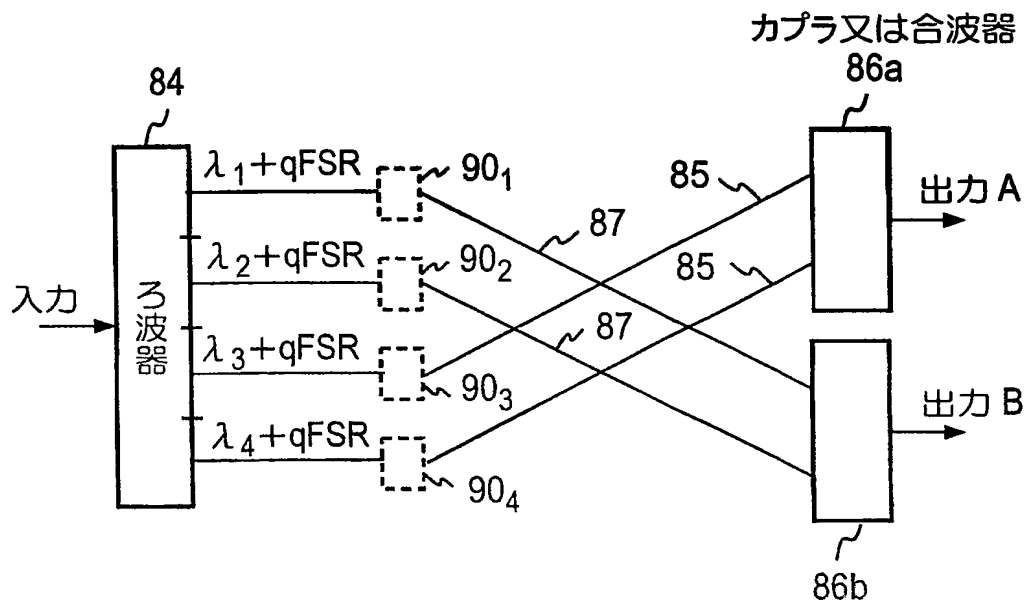


図21

【図 22】

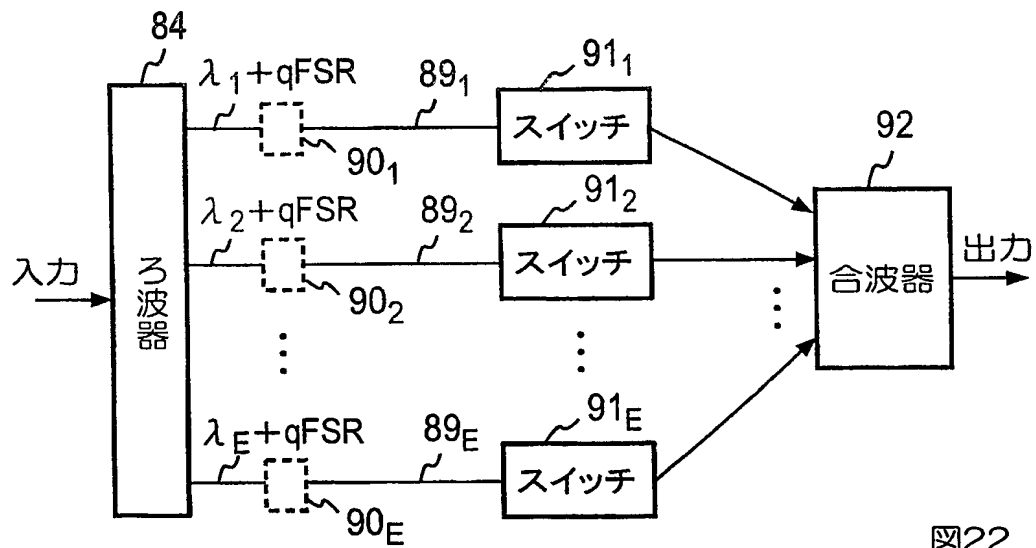


図22

【図 23】

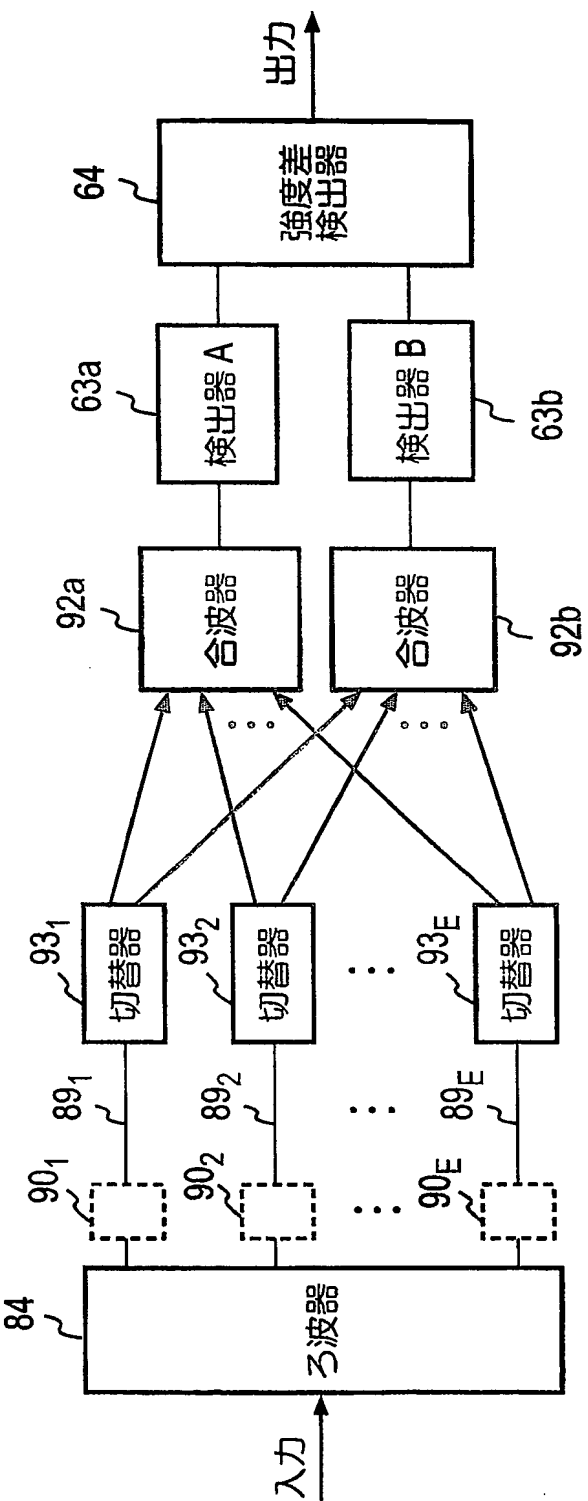


図23

【図 24】

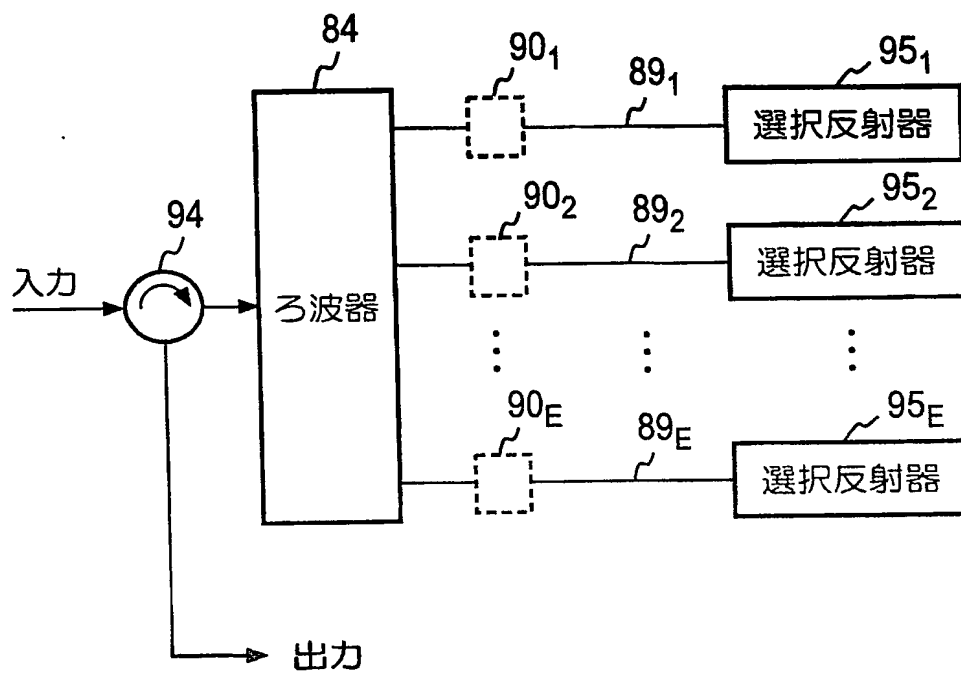


図24

【図 25】

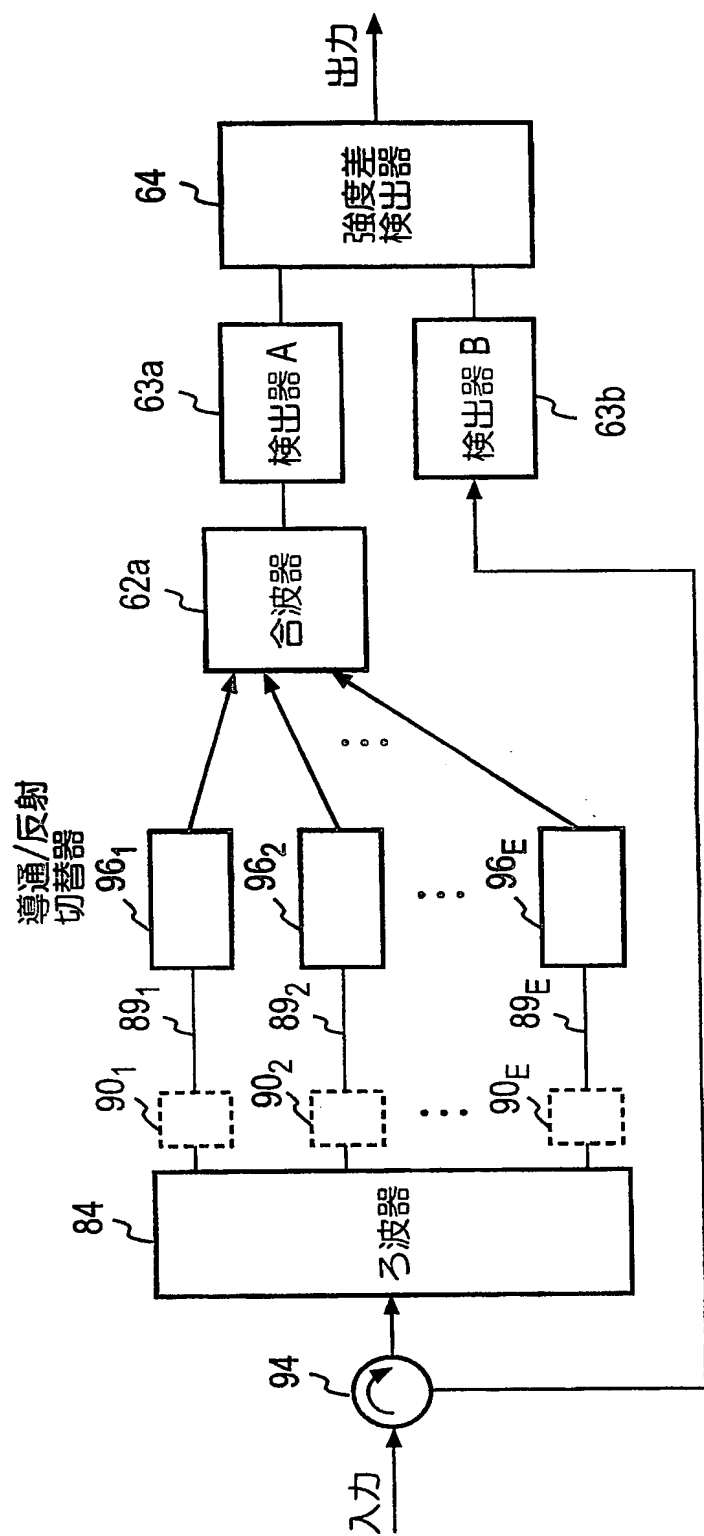


図25

【図 26】

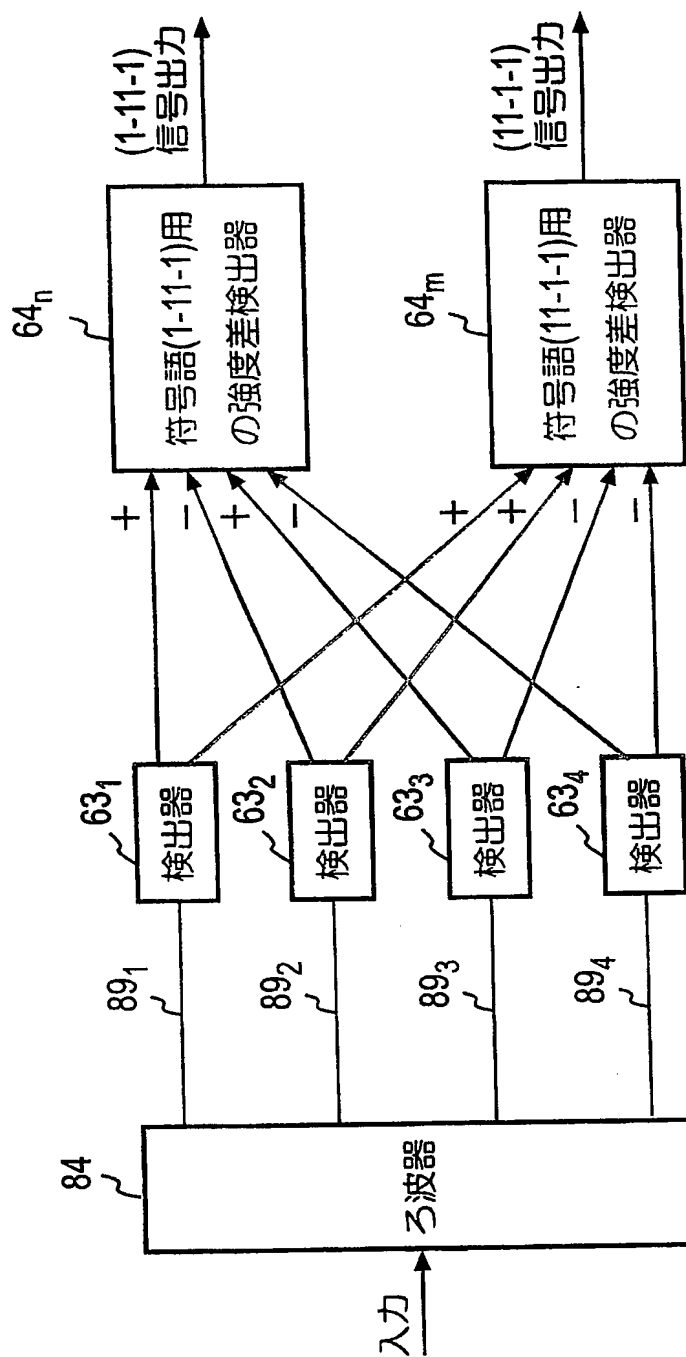


図26

【図 27】

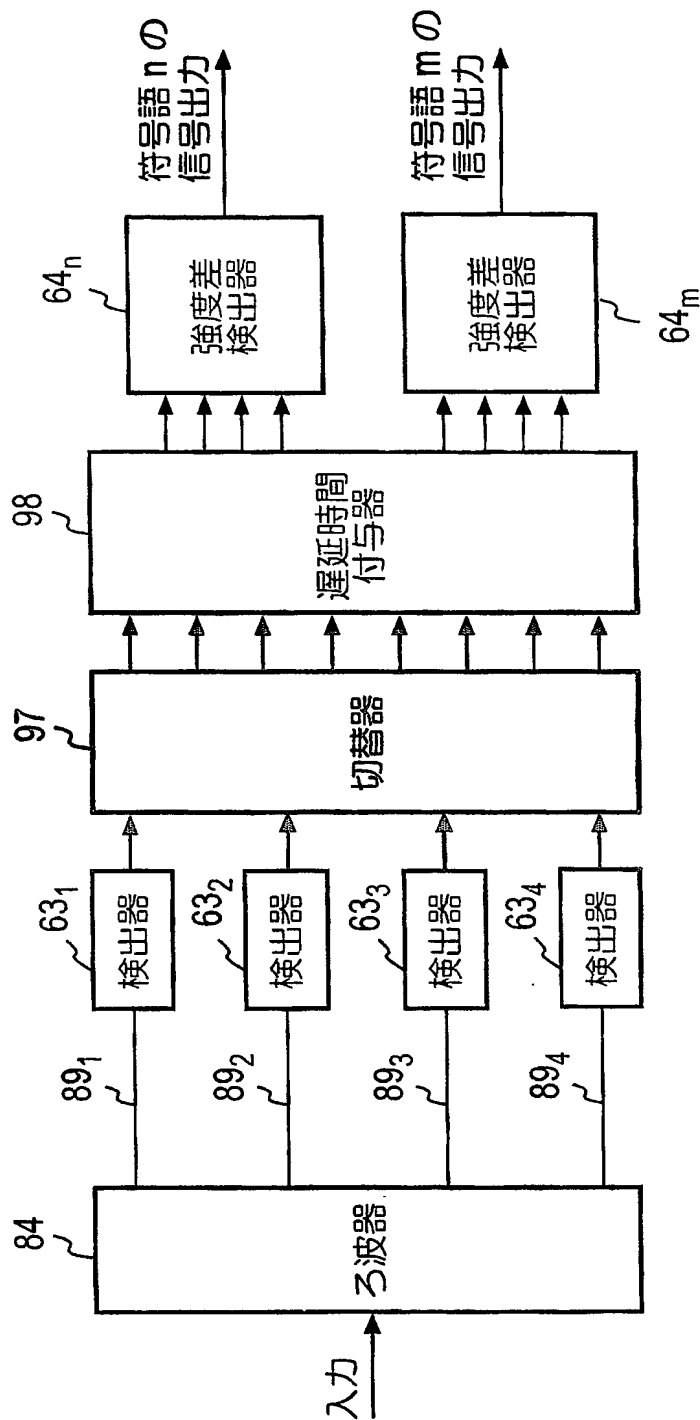


図27

【図 28】

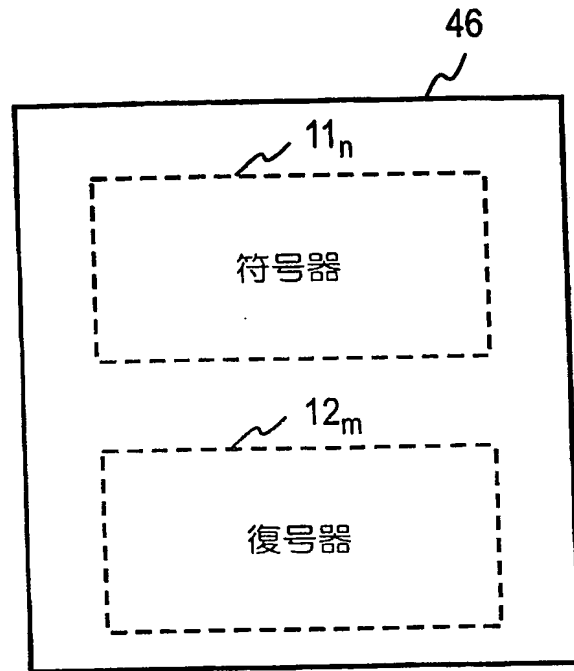


図28

【図 29】

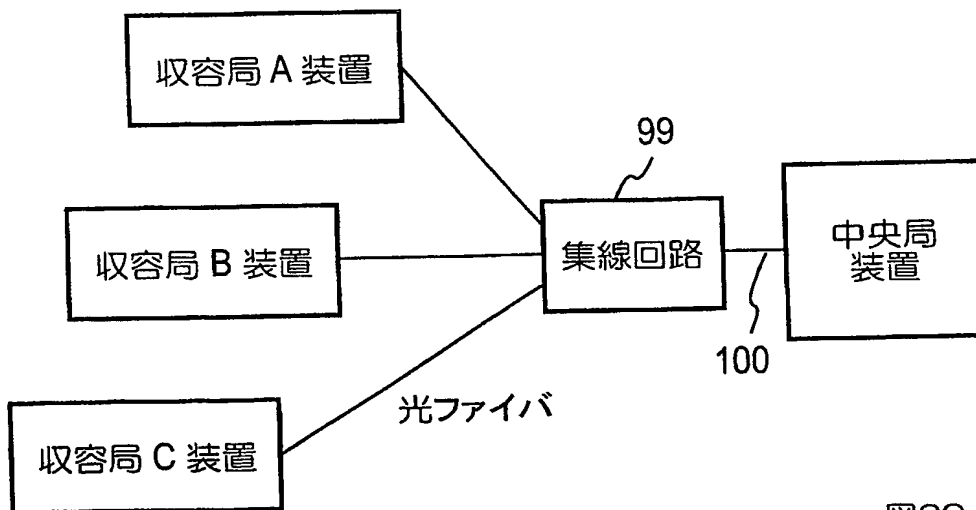


図29

【書類名】要約書

【要約】

【課題】光源の光波長の校正を不要とし、伝送波長幅を大きくすることなく、多くの符号を用いることを可能とする。

【解決手段】光源の光波長幅をFSRとし、全ての拡散符号はその符号長をFSRの同一値とし、かつ互いに直交性をもつものとする。第n拡散符号の周波数特性を $C_n(f) = (1 + \cos(2\pi s f / \text{FSR} + r\pi/2)) / 2$ (sは1～最大符号数/2の整数値、r=0又は1)として符号間に直交性を与える。あるいは拡散符号を構成するチップ配列に連続する波長をそれぞれ割り当て、各チップ“1”の波長を出力し、例えば2次のアダマール符号語(0101)や(0011)を繰り返し連続させた連結符号から連続するFSR分のチップ列を拡散符号とする。符号化波長領域31と復号化波長領域32は光源波長のドリフト範囲をカバーするようにする。図13中の $\Delta\lambda_1$ 、 $\Delta\lambda_2$ は光源波長のドリフトである。

【選択図】図13

特願 2 0 0 3 - 2 7 5 6 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.